



Tykkelsesvækst og vitalitet efter spredning af flisaske

Skov, Simon; Ingerslev, Morten

Publication date:
2019

Document version
Også kaldet Forlagets PDF

Document license:
[Ikke-specificeret](#)

Citation for published version (APA):
Skov, S., & Ingerslev, M. (2019). *Tykkelsesvækst og vitalitet efter spredning af flisaske*. (1 udg.). IGN Rapport



Tykkelsesvækst og vitalitet efter spredning af flisaske

Simon Skov og Morten Ingerslev

IGN Rapport
December 2019

Titel

Tykkelsesvækst og vitalitet efter spredning af flisaske

Forfattere

Simon Skov og Morten Ingerslev

Bedes citeret

Simon Skov og Morten Ingerslev (2019): Tykkelsesvækst og vitalitet efter spredning af flisaske. IGN Rapport, december 2019, Institut for Geovidenskab og Naturforvaltning, Frederiksberg. 48 s. ill.

Udgiver

Institut for Geovidenskab og Naturforvaltning
Københavns Universitet
Rolighedsvej 23
1958 Frederiksberg C
ign@ign.ku.dk
www.ign.ku.dk

Ansvarshavende redaktør

Claus Beier

ISBN

978-87-7903-819-6 (web)

Omslag layout

Jette Alsing Larsen

Forsidefoto

Katrine Andersen

Publicering

Rapporten er publiceret på www.ign.ku.dk

Gengivelse er tilladt med tydelig kildeangivelse

Skriftlig tilladelse kræves, hvis man vil bruge instituttets navn og/eller dele af denne rapport i sammenhæng med salg og reklame

Resumé

Nærværende projekt er udført ved at sammenligne seks bevoksningspar, hvoraf den ene bevoksning har modtaget aske, og den anden ikke har. De tre af bevoksningsparrene ligger i Fromsseier Plantage og de tre andre ligger i Thy. Inden for hvert bevoksningspar er bevoksningerne ens eller næsten ens med hensyn til træart, træalder, tyndingshistorik og jordbundstype. Projektet bygger på en forudsætning om, at de parvise bevoksninger er ens på nær tilførslen af aske. Årsagen til, at den ene bevoksning i parrene ikke har modtaget aske er praktiske hensyn som for eksempel fremkommeligheden i skoven eller mangel på aske. De seks bevoksninger, med sammenlignelige parceller, er analyseret med hensyn til jordkemi, nålekemi og tilvækst.

Det viser sig, at jorden er mest sur i Fromsseier og lidt mindre sur i Thy. I Fromsseier kan askens kalkningseffekt måles som lidt højere pH i parcellerne, der har modtaget aske, mens denne effekt ikke kan måles i Thy.

Asken indeholder næringsstoffer, men der kan ikke vises et entydigt billede af, at der findes flere næringsstoffer i jorden efter askespredning, med undtagelse af Mn og Fe, hvor askespredningen har hævet koncentrationerne i jordbunden. Endvidere hæves koncentrationen af syreopløseligt Cr, Pb og Ni i O-horizonten i mindst 5 af de 6 parceller, der har fået aske.

Træerne optager de plantetilgængelige næringsstoffer og transporterer en del af dem til nålene, hvor fotosyntesen foregår.

Den kemiske analyse af nålene beskriver træernes næringsstofstatus, som er en vigtig parameter, når man vil bestemme træets vitalitet. På det tidspunkt vi udtager jord- og nåleprøver, er det over 5 år siden asken blev spredt. På det tidspunkt ser det ud til, at nålenes stofindhold i langt højere grad end jordbundskemien er påvirket af askespredningen. I Fromsseier ses en signifikant stigning i nålenes koncentration for 8 ud af 12 analyserede næringsstoffer, mens der i Thy generelt ikke ses en effekt af askespredningen på næringsstofkoncentrationerne i nålene. Dog findes der i Thy én signifikant forskel mellem nålene i aske og ikke-aske-bevoksninger, og det er et fald i Bor efter askespredning. Resultatet undrer og tillægges ingen betydning.

Når årringene måles og sammenlignes inden for de parvise bevoksninger i hhv. Fromsseier og Thy, så kan askens effekt på tilvæksten vurderes, idet bevoksningspar antages ligestillet på andre vækstfaktorer end asketilførsel. I alle tre bevoksningspar med rødgran i Fromsseier, ses en signifikant øget tilvækst i bevoksningerne, der har modtaget aske. I Thy er der også målt tilvækst med og uden aske i to bevoksningspar med sitkagran, hvor der er signifikant forøget tilvækst i den ene og tendens til øget tilvækst i den anden. Der er også målt tilvækst i et bevoksningspar med skovfyr, hvor der er konstateret tendens til øget tilvækst.

Samlet set, så har askespredningen enten medført signifikant forøget tilvækst eller tendens til øget tilvækst i de seks bevoksningspar, som er sammenlignet i projektet. Fælles for dem er, at de står på mager sandjord.

Indhold

Resumé.....	3
Forord.....	5
Baggrund	6
Design.....	7
Fromsseier Plantage	7
Naturstyrelsen Thy	8
Aske.....	9
Jordbundskemi.....	11
Konklusion – jordkemi	17
Træernes næringsstofstatus.....	19
Metode.....	19
Resultater - nålekemi	20
Konklusion – nålekemi.....	32
Tilvækst	33
Fromsseier Plantage	33
Samlet statistisk behandling af tilvæksten	39
Naturstyrelsen-Thy.....	41
Hoved-konklusion.....	47

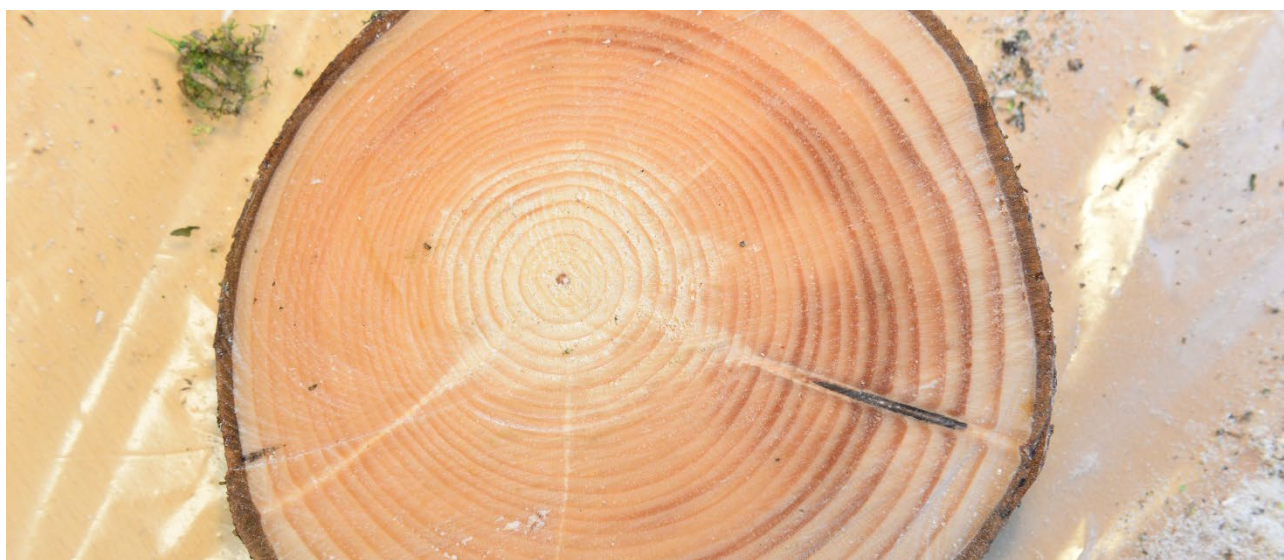


Foto 1: Årringe er de synlige overgange mellem høstved og vårved. Ved at måle årringsbredden bestemmes træets årlige tykkelsesvækst.

Forord

Projektet "Flisaskes effekt på træernes tilvækst og vitalitet" har til formål, at undersøge om spredning af flisaske påvirker træers tilvækst og/eller ændrer træernes vitalitet.

Projektet er finansieret af Naturstyrelsen, HedeDanmark og IGN-KU.

Projektet består af årringsanalyser på træer, der har eller ikke har modtaget bioaske. Der er udført målinger seks steder i Fromsseier Plantage og seks steder hos Naturstyrelsen Thy. Desuden indgår der nåleanalyser og jordanalyser fra parcellerne.

Projektets begrænsede økonomi sætter rammene for undersøgelsens størrelse. Denne rapport skal læses med bevidsthed om, at der her er udført et pilotprojekt med meget begrænsede midler til et spørgsmål, som burde undersøges grundigt i et meget større projekt.

Forsøget i Fromsseier er udført i samarbejde med skovfoged Mogens Lunde, mens forsøget i Thy er udført i samarbejde med skovfoged Per Kynde. Begge har haft afgørende betydning for projektets gennemførsel og skal have stor tak.

Kemi: Alle stofkoncentrationer er opgivet på tørstofbasis. Der anvendes overvejende kemiske symboler for atomer: kulstof (C), kvælstof (N), fosfor (P), kalium (K), kalcium (Ca), magnesium (Mg), svovl (S), jern (Fe), mangan (Mn), natrium (Na), kobber (Cu), sink (Zn), bor (B), kadmium (Cd), Bly (Pb), nikkel (Ni) og krom (Cr).

Statistik: I rapporten anvendes et signifikansniveau på 0,05. Hermed menes, at forskelle med 95 % sikkerhed ikke beror på tilfældigheder, men skyldes faktiske forskelle. Det er bl.a. dataseriernes varians, der afgør, om to forskellige gennemsnit er signifikant forskellige. Jon Kehlet Hansen skal have tak for den statistiske bistand.

Kvalitetssikring og kommentering er sket ved rundsending til projektgruppen: NST, HedeDanmark, NST-Thy, Fromsseier Plantage samt Vivian Kvist Johansen (IGN). Metode, fortolkning og formidling er udelukkende forfatterens ansvar.



Foto 2: Spredning af flisaske i nåleskov.

Baggrund

Flisaske er restproduktet efter flisafbrænding på (kraft)varmeværker. Asken er basisk og indeholder næringsstoffer, uforbrændt flis og uopløselige mineralske dele som fx sand. Spredning af bioaske på et areal medfører tilførsel af næringsstoffer og øger pH-værdien i de øverste centimeter af jorden. Både tilførslen af næringsstoffer og kalkningseffekten påvirker træerne. Om bioasken fører til øget tilvækst hos træerne afhænger af en række faktorer. Det er afgørende for træernes respons, om de har tilstrækkelig adgang til næringsstoffer, eller de lider under væksthæmmende næringsstofmangel enten som følge af mangel på næringsstoffer i jorden eller på grund af næringsstofferne nedsatte tilgængelighed i meget sur jord.

Træernes vækst ligger inden for en artsspecifik genetisk ramme. Inden for denne påvirkes vækstraten af faktorer som vand, næringsstoffer, pH, vind, klima, konkurrence, biotisk stress og alder. At isolere en af faktorer kræver store langvarige undersøgelser. Nærværende projekt er ikke hverken stort eller langvarigt, men ment som en analyse af askens effekt i en række eksempler på bevoksninger, der har eller ikke har modtaget aske.

Projektet kan ikke afklare om alle bevoksninger, der modtager bioaske, responderer med øget tilvækst. Det formodes, at askens effekt afhænger af bevoksningens tilstand. Hvis træerne mangler næringsstoffer og vokser på meget sur jord, så er der en vis sandsynlighed for, at askens næringsstoffer og kalkningseffekt vil føre til øget tilvækst. På den anden side kan det også være, at træerne er hæmmet af andre faktorer, som asken ikke ændrer på. Vi ved også fra gødskningsforsøg, at yngre nålebevoksninger generelt responderer tydeligere på gødskning end ældre bevoksninger.

Asken indeholder ikke kvælstof, som er et vigtigt næringsstof. Mangel på dette næringsstof er ofte en af de vigtige faktorer, der bestemmer rødgrans væksthastighed i artens naturlige udbredelsesområde. I forbindelse med askespredning på tørvejord er det vist, at askens kalkningseffekt kan medføre øget tilgængelighed af kvælstof, idet der kan ske en øget nedbrydning af organisk materiale, når meget sure jorde bliver lidt mindre sure. Kvælstof fra den øgede nedbrydning på tørvejorde fører ofte til øget tilvækst efter askespredning i Sverige, Finland og Letland. Det er uvist, om de danske træer påvirkes af denne mekanisme, hvad enten der er tale om nedbrydning af tørvejord eller O-horisonten, eller der allerede er rigeligt kvælstof i jorden på grund af stor kvælstof-deposition i Danmark.

Vi ved fra en lang række gødningsforsøg med N, P og K m.fl., at vi kun sjældent opnår en mertilvækst i dansk rødgran, der gør gødskning økonomisk rentabel og ofte udebliver en signifikant mertilvækst i disse forsøg. Når man laver nåleanalyser i de danske gødskningsforsøg, finder man, at der er stor spredning på træernes næringsstofstatus, og at billedet afviger fra tilsvarende analyser i rødgranbevoksninger i det boreale område, hvor det ofte er N, der er det vækstbegrænsende næringsstof. I Danmark finder man oftest en blanding af vækstbegrænsende mangel på N eller P. En bevoksning med N-mangel har således ikke nødvendigvis samtidig P-mangel. Der er til gengæld en del bevoksninger, som ikke har N-mangel (sandsynlig pga. N-deposition), mens næsten alle bevoksninger har en P-status som er under optimal. I Danmark kan man også finde K-mangel, men det er ofte sammenfaldende med lav N-status.

I dette projekt er der valgt to lokaliteter: Fromsseier Plantage ved Vorbasse/Billund og NST-Thy. Begge steder står bevoksningerne på næringsfattig sandjord. Projektets resultater kan bruges som eksempler for lignende lokaliteter, men ikke repræsentere bevoksninger på andre jordtyper.

Design

Der er udført feltforsøg i Fromsseier Plantage og NST-Thy. Begge steder er forsøget udført som sammenligning af tre sæt parvist sammenlignelige bevoksninger, der enten har eller ikke har modtaget aske. I dette projekt er de parvist sammenlignelige bevoksninger opstået ved tilfældigheder som fx en tom askespreder, en grøft, der ikke kan køres over og lignende praktiske hensyn. De parvise parceller har samme træart og så vidt muligt sammen træalder, jordbund, tyndingshistorik mv. I Thy ligger de parvise parceller ved siden af hinanden, mens de i Fromsseier Plantage ligger spredt i plantagen. Designet indeholder en risiko for, at der inden for parrene er andre forskelle end askespredningen. Det kunne være jordbunden, tyndingen, jordfugtigheden og andre vækstpåvirkende faktorer. Disse faktorer er behandlet inden for projektets rammer.

Fromsseier Plantage

Fromsseier Plantage ligger på mager jord ved Vorbasse. Forsøget er anlagt i Fromsseier Plantage i 2016. Der er valgt parceller til belysning af askens effekt på træerne ud fra et ønske om at lave en parvis sammenligning af parceller med og uden askegødskning i ensaldret monokultur af rødgran. Nøgledata for disse bevoksninger fremgår af tabel 1. De parvise parceller er sammenlignelige med hensyn til alder, tyndingshistorik og jordbund.

Der indgår seks parceller, hvoraf 3 har fået flisaske i 2010/11. Parcellerne, der ikke har modtaget aske hedder 1, mens 2 indikerer, at parcellen har modtaget aske.

Parcellerne B og C er parvist ensaldret, mens der er 4 års forskel mellem A1 og A2.

Tabel 1: Oversigt over tre bevoksningspar i Fromsseier Plantage.

Navn	Afd	Litra	Art	Plantet (år)	Aske 3t/h (år)	Tyndet (år)
A1	50	c	rgr	1953		2009, 2010
A2	202	b	rgr	1949	2010/2011	2009, 2010
B1	26	b+f	rgr	1988		2013, 2014
B2	26	g	rgr	1988	2010/2011	2013, 2014
C1	47	f	rgr	1984		2012, 2013
C2	28	b	rgr	1984	2010/2011	2014

Tyndingshistorikken fremgår af tabel 1. Tynding er en oplagt fejlkilde i forhold til analyser af tilvæksten, idet tynding medfører øget tilvækst for de tilbageværende træer. Denne tilvækst kan forveksles med tilvæksten efter askegødskning.

Det er lykkedes at tage to hensyn i forhold til denne mulige fejlkilde. Dels er der ikke tyndet og spredt aske samme år, dels er tyndingen sket samme år i parrene a og b, mens parcellerne c er tyndet hhv. vinteren 2012/13 og sommeren 2014.

Når tyndingen er sket samtidig eller næsten samtidig i de parvise parceller, så optræder tynding ikke som en forskel i parrene. En evt. forskel skyldes således ikke tynding men den tilførte aske.

Et andet forhold, der kan gøre sig gældende ved tyndingerne er, hvor vidt der har været forskelle i tyndingsintensiteten. Her mangler vi præcis viden, hvilket er en fejlkilde i forhold til resultaterne.



Foto 3: Fældning af rødgran i Fromsseier Plantage.

Naturstyrelsen Thy

Hos NST Thy er der spredt aske siden '80erne. Der er spredt aske på de fleste aske-egnede steder på et tidspunkt. Heldigvis kan traktorfører Finn huske situationer, hvor asken slap op, eller en grøft forhindrede, at sprede aske i et hjørne af en bevoksning. I Thy blev der valgt tre lokaliteter, der alle har et areal med aske og et naboareal uden aske.

Tabel 2: Oversigt over de tre bevoksningspar i Thy.

Skov	Navn	Afd	Art	Plantet (år)	Aske	Aske år	Tyndet (år)
Korsø	K1	1262 a	skovfyr	1955			2007, 2017
	K2	1262 b	skovfyr	1954	2 t/ha	2009	2007, 2017
Nystrup	N1	450 b	sitka	1972			2008, 2015
	N2	449 a	sitka	1971	3 t/ha	2012	2007, 2015
Tømmerby Kær	T1	1291 a	sitka	1970			2006
	T2	1290 a	sitka	1969	2 t/ha	2009	2006

De tre parvise sammenligninger er valg ud fra de steder i skovene, der med sikkerhed ikke har fået aske. Der er tidligere blevet spredt 2 ton aske/ha. Derfor indgår denne dosering i to af lokaliteterne. Det havde været ønskeligt med tre ton/ha. Der er risiko for at undervurdere askens effekt på tilvæksten, når der kun tildeles to ton/ha og ikke de sædvanligvis lovlig tre ton/ha.

Som det fremgår af tabel 2, så er alle tre parvise felter sammenlignelige med hensyn til tyndingstidspunktet. I Korsø og Nystrup er der tyndet to gange inden for de sidste 20 år, mens der kun er tyndet én gang i Tømmerby Kær. Tyndingsintensiteten, som også er en vigtig parameter, er ikke nærmere beskrevet.

I alle parceller blev der tilfældigt udvalgt 15 co-dominante træer i hver parcel (dog 16 træer i N1). Fra de fældede træer blev der umiddelbart efter fældningen savet en skive ud i 1,3 meters højde fra jorden, samtidig blev der udtaget nåleprøver fra de samme træer og jordbundsprøver fra de benyttede parceller.



Foto 4: Markering af 15 co-dominante træer i Thy.

Aske

Flisaske har forskelligt indhold af næringsstoffer og tungmetaller. Der er ikke udført analyser af asken, som er anvendt på de arealer, der indgår i undersøgelsen.

I Thy kommer hovedparten af asken fra Hurup Varmeværk, der brænder flis fra de samme skove, som asken er spredt i.

I Fromsøier Plantage kommer asken fra flere nærtliggende varmekærker, og det vides ikke præcist, hvilken aske der er anvendt på de arealer, der indgår i undersøgelsen.



Foto 5: Flisaske fra varmekærk. Asken varierer bl.a. afhængigt af brændslet, sandindholdet og værkets drift.

Jordbundskemi

Der er udtaget jordbundsprøver fra de enkelte bevoksninger fra det øverste organiske lag (O-horisonen) og to dybder i mineraljorden. Der blev udtaget prøver fra O-horisonerne inkl. mosser og laver fra et 15*30 cm areal og fra mineraljorden med jordspyd i dybdeintervallerne 0-10 cm og 10-30 cm. I hver bevoksning blev der udtaget 3 prøver fra alle dybder, og disse prøver blev efterfølgende slået sammen til tre samle-prøver. Jordprøverne blev tørret ved 55 °C, indtil de havde en konstant vægt. Jordprøverne blev efterfølgende sigtet gennem en 2 mm sigte og blandet grundigt, før en delprøve blev udtaget til de kemiske analyser.

Jordprøverne blev indledningsvis analyseret for $\text{pH}_{\text{CaCl}_2}$ og total-N. Jordprøverne blev efterfølgende ekstraheret med NH_4NO_3 for at bestemme koncentrationen af både ombyttelige ioner fra kationbytterkomplekset og umiddelbart plantetilgængelige ioner fra jordvæsken. Desuden blev jordprøverne oplukket med HNO_3 i mikrobølgeovn for at bestemme koncentrationerne syreopløselige elementer jf. DS 259. Ekstraktionerne blev analyseret for koncentrationerne af P, K, Ca, Mg, Fe, Mn, Na, B, Al, Zn, S, Cd, Pb, Cr, Ni og Co.



Foto 6: O-horisonen er det organiske lag, der ligger ovenpå mineraljorden, som her ses som et lag af hvidt sand.



Foto 7: Prøve taget med jordspyd. Dybden måles fra mineraljordens overflade og nedad.

Tabel 3: Resultater fra kemisk analyse af jordprøver fra Fromsseier for pH CaCl_2 og total-N. Hvis der er mere end 10% forskel på kontrol- og askebevoksningen, er den højeste markeret med blå.

Bevoksning	Dybde	pH CaCl_2		N (%)	
		Kontrol	Aske	Kontrol	Aske
A	O-horis.	2,81	3,05	1,481	1,676
	0-10	2,90	3,35	0,101	0,100
	10-30	3,51	4,12	0,059	0,041
B	O-horis.	2,83	2,87	1,230	0,988
	0-10	2,81	3,17	0,093	0,042
	10-30	3,45	3,39	0,057	0,053
C	O-horis.	3,77	3,48	1,485	1,276
	0-10	2,85	3,24	0,118	0,044
	10-30	3,19	3,8	0,105	0,049

Tabel 4: Resultater fra kemisk analyse af jordprøver fra Thy for pH CaCl_2 og total-N. Hvis der er mere end 10% forskel på kontrol- og askebevoksningen, er den højeste markeret med blå.

Bevoksning	Dybde	pH CaCl_2		N (%)	
		Kontrol	Aske	Kontrol	Aske
Korsø	O-horis.	3,23	3,36	1,649	1,743
	0-10	3,49	3,49	0,045	0,055
	10-30	3,99	4,00	0,014	0,013
Nystrup	O-horis.	3,18	3,83	1,256	1,188
	0-10	3,63	3,55	0,026	0,024
	10-30	3,81	4,03	0,011	0,008
Tømmerby	O-horis.	2,9	2,85	1,506	1,490
	0-10	3,19	3,16	0,193	0,182
	10-30	3,9	3,43	0,030	0,042

Det er ikke muligt at lave statistisk behandling af resultaterne, da der af økonomiske hensyn ikke er lavet analyser på gentagne prøver. Til gengæld er der lavet gentagelser i prøveudtagningen og efterfølgende sammenslåninger, hvilket vil sige, at den variation, som findes på arealerne, er indbygget i de angivne resultater. For at få et overblik over eventuelle tendenser er det i resultattabellerne markeret med blå, når forskellen mellem kontrol- og askebehandlede parceller (inden for samme bevoksningspar) overstiger 10%.

Umiddelbart kunne man forvente, at askebehandlingerne ville hæve pH i O-horisonterne, men det ses, hverken i Fromsseier eller Thy. Asken hæver pH i mineraljorden i Fromsseier, men denne effekt ses ikke i Thy. Det er stærkt sandsynligt, at askespredningen på spredningstidspunktet har påvirket pH i O-horisonten i alle aske-bevoksningerne, og at denne effekt i Fromsseier har bevæget sig nedad, og nu kun kan ses i mineraljorden, mens den i Thy er blevet nedvasket og i højere grad forsvundet. Der er en tendens til, at N koncentrationen er højere i kontrol-bevoksningerne sammenlignet med de parceller, der har fået aske i Fromsseier. Denne tendens kan forklares ved, at asken har øget omsætningen af organisk stof i jorden, og træerne efterfølgende har optaget den frigivne N. Effekten ses ikke i alle bevoksninger og ses ikke i Thy.

Det ser ikke ud til, at askespredningen har ændret koncentrationen af P, K, Ca, Mg, Cu, Cd, Na og Zn. Det bemærkes blandt andet, at der generelt er mere fosfor i ikke-aske bevoksningerne i Fromsseier.

Koncentrationen af både syreopløseligt og ombytteligt Mn er tilsyneladende højere i O-horisonterne i alle de bevoksninger, der har fået aske sammenlignet med de respektive kontroller i samme bevoksningspar på begge lokaliteter. Det ser også ud til, at aske medfører, at koncentrationen af Mn er øget i de dybere lag i mineraljorden i nogle af bevoksningerne. Det samme gør sig tilsyneladende gældende for Fe, med undtagelse af ombytteligt Fe i bevoksningspar A i Fromsseier, hvor der ikke er nogen tydelig forskel og i bevoksningsparret i Nystrup, hvor værdien er lidt større i kontrol-jorden end i jorden, der har fået aske.

Koncentrationen af syreopløseligt Cr, Pb og Ni er hævet i O-horisonten i mindst 5 af de 6 parceller, der har fået aske.

Tabel 5: Resultater fra kemisk analyse af jordprøver fra Fromsseier for hhv. koncentrationen af ombytteligt (Ombyt.) og syreopløseligt (Syreopl.) P, K, Ca, Mg og Mn i O-horisonten (O-horis.) og to dybdeintervaller i mineraljorden (0-10 cm og 10-30 cm). De blåfarvede felter angiver, at koncentrationsforskellen mellem kontrol- og askebehandlede parceller (inden for samme bevoksningspar) er større end 10%.

Bevoksning	Dybde	Fraktion	P (mg/Kg)		K (mg/Kg)		Ca (mg/Kg)		Mg (mg/Kg)		Mn (mg/Kg)	
			Kontrol	Aske	Kontrol	Aske	Kontrol	Aske	Kontrol	Aske	Kontrol	Aske
A	O-horis.	Ombyt.	95,26	97,58	417	447	481	1280	484	723	15,6	58,3
	O-horis.	Syreopl.	492,85	483,09	514	582	1026	2014	810	1053	31,5	87,5
	0-10 cm	Ombyt.	5,73	0,53	21	17	26	35	12	24	0,8	0,8
	0-10 cm	Syreopl.	39,08	86,85	89	339	169	364	56	280	8,7	15,5
	10-30 cm	Ombyt.	0,57	0,23	8	12	10	6	3	3	1,2	0,9
	10-30 cm	Syreopl.	61,28	75,49	135	290	146	277	98	342	16,7	38,1
B	O-horis.	Ombyt.	135,78	92,29	454	392	826	548	462	341	29,5	100,2
	O-horis.	Syreopl.	511,32	352,40	574	497	1604	920	674	479	60,8	95,8
	0-10 cm	Ombyt.	3,73	1,37	16	10	33	7	16	7	0,6	1,9
	0-10 cm	Syreopl.	37,43	31,09	105	143	206	234	64	96	12,0	25,8
	10-30 cm	Ombyt.	0,47	0,53	9	9	11	8	5	6	0,5	6,1
	10-30 cm	Syreopl.	91,13	56,71	190	203	213	248	180	219	15,0	70,4
C	O-horis.	Ombyt.	356,84	251,13	1215	696	3650	2553	1033	583	176,2	493,1
	O-horis.	Syreopl.	757,53	548,97	793	780	5401	2724	839	716	156,6	380,4
	0-10 cm	Ombyt.	5,39	2,30	24	14	74	23	27	10	2,2	2,8
	0-10 cm	Syreopl.	57,74	34,62	188	179	322	273	123	114	21,1	22,0
	10-30 cm	Ombyt.	0,98	0,28	15	10	25	11	13	5	1,1	11,3
	10-30 cm	Syreopl.	78,38	68,80	165	294	145	276	167	265	12,4	100,8

Tabel 6: Resultater fra kemisk analyse af jordprøver fra Thy for hhv. koncentrationen af ombytteligt (Ombyt.) og syreopløseligt (Syreopl.) P, K, Ca, Mg og Mn i O-horisonten og to dybdeintervaller i mineraljorden (0-10 cm og 10-30 cm). De blåfarvede felter angiver at koncentrationsforskellen mellem kontrol- og askebehandlede bevoksninger (inden for samme bevoksningspar) er større end 10%.

Bevoksning	Dybde	Fraktion	P (mg/Kg)		K (mg/Kg)		Ca (mg/Kg)		Mg (mg/Kg)		Mn (mg/Kg)	
			Kontrol	Aske	Kontrol	Aske	Kontrol	Aske	Kontrol	Aske	Kontrol	Aske
Korsø	O-horis.	Ombyt.	171,76	178,90	636	789	2121	2465	947	959	60,3	70,6
	O-horis.	Syreopl.	698,63	672,79	704	953	1850	2402	1001	1084	68,7	83,5
	0-10 cm	Ombyt.	1,64	3,17	10	30	23	28	10	30	0,3	0,6
	0-10 cm	Syreopl.	39,94	39,60	114	172	183	430	92	111	15,9	19,1
	10-30 cm	Ombyt.	0,87	0,66	8	9	4	15	4	5	0,3	0,5
	10-30 cm	Syreopl.	78,43	61,65	174	150	564	453	166	185	25,7	30,1
Nystrup	O-horis.	Ombyt.	176,69	286,08	702	892	1825	5035	1034	1391	58,4	329,4
	O-horis.	Syreopl.	615,31	786,82	920	1063	2170	5451	1164	1523	75,3	405,8
	0-10 cm	Ombyt.	5,18	5,30	13	499	53	42	18	18	1,6	0,6
	0-10 cm	Syreopl.	35,34	35,75	103	106	383	328	101	102	19,6	21,7
	10-30 cm	Ombyt.	1,24	0,91	11	74	13	4	7	4	0,4	0,3
	10-30 cm	Syreopl.	52,16	34,55	104	92	47	275	125	119	17,1	15,6
Tømmerby	O-horis.	Ombyt.	105,71	101,84	495	506	1015	1088	748	695	12,8	16,1
	O-horis.	Syreopl.	512,61	442,17	529	531	915	995	807	743	18,2	23,4
	0-10 cm	Ombyt.	5,53	7,97	309	64	70	167	45	35	1,3	1,1
	0-10 cm	Syreopl.	123,99	77,87	139	133	111	313	94	70	11,4	12,0
	10-30 cm	Ombyt.	0,67	3,11	4	323	7	33	4	14	0,5	2,2
	10-30 cm	Syreopl.	44,47	33,67	145	107	283	308	99	51	11,7	12,1

Tabel 7: Resultater fra kemisk analyse af jordprøver fra Fromsseier for hhv. koncentrationen af ombytteligt (Ombyt.) og syreropløseligt (Syreopl.) Fe, Cu, Cd og Cr i O-horisonten og to dybdeintervaller i mineraljorden (0-10 cm og 10-30 cm). De blåfarvede felter angiver at koncentrationsforskellen mellem kontrol- og askebehandlede bevoksninger (inden for samme bevoksningspar) er større end 10%.

Bevoksning	Dybde	Fraktion	Fe (mg/Kg)		Cu (mg/Kg)		Cd (mg/kg)		Cr mg/Kg	
			Kontrol	Aske	Kontrol	Aske	Kontrol	Aske	Kontrol	Aske
A	O-horis.	Ombyt.	36	36	0,162	0,178	0,158	0,306	0,010	0,044
	O-horis.	Syreopl.	1072	1751	5,467	8,497	0,318	0,549	3,226	5,051
	0-10 cm	Ombyt.	16	103	0,004	0,013	0,050	0,065	0,003	0,027
	0-10 cm	Syreopl.	414	6495	0,809	1,215	0,074	0,118	1,790	5,982
	10-30 cm	Ombyt.	36	24	0,004	0,003	0,027	0,017	0,011	0,017
	10-30 cm	Syreopl.	2685	4233	0,329	1,609	0,044	0,048	3,000	7,836
B	O-horis.	Ombyt.	54	85	0,095	0,108	0,328	0,182	0,065	0,024
	O-horis.	Syreopl.	1442	2043	7,016	5,840	0,551	0,260	5,677	5,426
	0-10 cm	Ombyt.	14	15	0,007	0,025	0,085	0,007	0,003	0,004
	0-10 cm	Syreopl.	456	1209	1,579	0,881	0,166	0,008	1,497	2,417
	10-30 cm	Ombyt.	50	73	0,003	0,025	0,030	0,013	0,029	0,012
	10-30 cm	Syreopl.	2413	3091	0,615	0,924	0,059	0,028	4,479	6,587
C	O-horis.	Ombyt.	7	12	0,117	0,105	0,174	0,151	0,099	0,066
	O-horis.	Syreopl.	1173	1624	7,606	6,623	0,530	0,308	4,822	6,354
	0-10 cm	Ombyt.	19	15	0,008	0,023	0,075	0,013	0,004	0,005
	0-10 cm	Syreopl.	880	813	1,970	0,945	0,162	0,022	5,768	4,238
	10-30 cm	Ombyt.	55	31	0,012	0,014	0,046	0,016	0,016	0,015
	10-30 cm	Syreopl.	2961	3462	0,995	1,445	0,104	0,036	5,204	7,071

Tabel 8: Resultater fra kemisk analyse af jordprøver fra Thy for hhv. koncentrationen af ombytteligt (Ombyt.) og syreropløseligt (Syreopl.) Fe, Cu, Cd, og Cr i O-horisonten og to dybdeintervaller i mineraljorden (0-10 cm og 10-30 cm). De blåfarvede felter angiver at koncentrationsforskellen mellem kontrol- og askebehandlede bevoksninger (inden for samme bevoksningspar) er større end 10%.

Bevoksning	Dybde	Fraktion	Fe mg/Kg		Cu mg/Kg		Cd mg/kg		Cr mg/Kg	
			Kontrol	Aske	Kontrol	Aske	Kontrol	Aske	Kontrol	Aske
Korsø	O-horis.	Ombyt.	12	14	0,191	0,398	0,216	0,254	0,010	0,000
	O-horis.	Syreopl.	772	1101	4,740	4,417	0,275	0,453	1,694	2,205
	0-10 cm	Ombyt.	19	43	0,153	0,056	0,004	0,019	0,002	0,010
	0-10 cm	Syreopl.	854	1083	1,321	0,253	0,004	0,004	1,608	1,647
	10-30 cm	Ombyt.	14	17	0,073	0,032	0,004	0,004	0,012	0,012
	10-30 cm	Syreopl.	1283	1409	0,428	0,145	0,011	0,019	2,124	2,630
Nystrup	O-horis.	Ombyt.	15	6	0,273	0,200	0,087	0,315	0,012	0,044
	O-horis.	Syreopl.	738	1008	3,785	7,435	0,192	0,597	1,834	2,619
	0-10 cm	Ombyt.	20	23	0,038	0,065	0,005	0,013	0,006	0,004
	0-10 cm	Syreopl.	1247	1229	0,261	0,363	0,003	0,014	1,436	1,450
	10-30 cm	Ombyt.	22	16	0,066	0,048	0,004	0,003	0,008	0,005
	10-30 cm	Syreopl.	1360	1175	0,242	0,189	0,009	0,008	1,203	1,241
Tømmerby	O-horis.	Ombyt.	25	37	0,255	0,351	0,261	0,247	0,003	0,015
	O-horis.	Syreopl.	628	864	3,379	3,878	0,397	0,351	1,524	2,033
	0-10 cm	Ombyt.	88	27	0,046	0,036	0,059	0,042	0,033	0,009
	0-10 cm	Syreopl.	1484	651	1,856	0,361	0,065	0,082	2,901	1,462
	10-30 cm	Ombyt.	9	13	0,029	0,032	0,009	0,021	0,021	0,011
	10-30 cm	Syreopl.	827	452	0,133	0,174	0,014	0,021	1,765	1,269

Tabel 9: Resultater fra kemisk analyse af jordprøver fra Fromsseier for hhv. koncentrationen af ombytteligt (Ombyt.) og syreropløseligt (Syreopl.) Na, Pb, Ni og Zn i O-horisonten (O-horis.) og to dybdeintervaller i mineraljorden (0-10 cm og 10-30 cm). De blåfarvede felter angiver at koncentrationsforskellen mellem kontrol- og askebehandlede bevoksninger (inden for samme bevoksningspar) er større end 10%.

Bevoksning	Dybde	Fraktion	Na mg/Kg		Pb mg/Kg		Ni mg/Kg		Zn mg/Kg	
			Kontrol	Aske	Kontrol	Aske	Kontrol	Aske	Kontrol	Aske
A	O-horis.	Ombyt.	319,6	380,4	1,75	2,12	0,70	0,87	14,96	15,36
	O-horis.	Syreopl.	660,3	615,8	27,97	43,33	7,27	10,33	25,70	33,64
	0-10 cm	Ombyt.	29,4	22,5	2,76	1,49	0,15	0,46	1,09	1,32
	0-10 cm	Syreopl.	53,5	64,3	11,62	16,32	1,87	0,73	2,30	4,58
	10-30 cm	Ombyt.	13,3	9,4	0,26	0,05	0,16	0,14	0,42	0,26
	10-30 cm	Syreopl.	31,4	34,9	3,41	2,89	0,32	0,54	1,97	8,97
B	O-horis.	Ombyt.	180,1	188,5	4,96	6,02	1,00	1,12	21,22	14,33
	O-horis.	Syreopl.	308,0	304,1	51,04	48,76	9,01	10,88	34,92	25,24
	0-10 cm	Ombyt.	15,5	9,3	1,89	1,52	0,16	0,10	2,54	0,46
	0-10 cm	Syreopl.	37,8	31,0	11,19	5,72	2,06	0,19	3,39	2,40
	10-30 cm	Ombyt.	9,0	14,4	0,21	1,58	0,23	0,32	0,73	0,56
	10-30 cm	Syreopl.	26,5	42,0	3,29	8,12	0,28	0,36	2,66	4,22
C	O-horis.	Ombyt.	361,7	128,1	0,63	0,97	0,40	0,54	23,08	15,47
	O-horis.	Syreopl.	621,8	255,0	27,39	28,75	7,71	9,26	41,96	25,88
	0-10 cm	Ombyt.	29,8	9,6	1,55	1,54	0,22	0,11	2,77	0,82
	0-10 cm	Syreopl.	64,8	40,8	11,35	7,52	4,84	0,13	3,82	2,50
	10-30 cm	Ombyt.	21,9	9,0	0,40	0,46	0,28	0,16	1,73	0,57
	10-30 cm	Syreopl.	49,6	38,7	5,72	5,94	0,34	0,40	4,35	6,51

Tabel 10: Resultater fra kemisk analyse af jordprøver fra Thy for hhv. koncentrationen af ombytteligt (Ombyt.) og syreropløseligt (Syreopl.) Na, Pb, Ni og Zn i O-horisonten og to dybdeintervaller i mineraljorden (0-10 cm og 10-30 cm). De blåfarvede felter angiver at koncentrationsforskellen mellem kontrol- og askebehandlede bevoksninger (inden for samme bevoksningspar) er større end 10%.

Bevoksning	Dybde	Fraktion	Na mg/Kg		Pb mg/Kg		Ni mg/Kg		Zn mg/Kg	
			Kontrol	Aske	Kontrol	Aske	Kontrol	Aske	Kontrol	Aske
Korsø	O-horis.	Ombyt.	337,3	302,5	0,73	1,00	0,48	0,47	19,77	18,24
	O-horis.	Syreopl.	346,1	314,9	13,42	21,67	2,22	2,50	31,92	31,37
	0-10 cm	Ombyt.	11,5	22,7	1,15	1,26	0,04	0,06	0,33	0,94
	0-10 cm	Syreopl.	18,6	25,0	4,75	4,55	0,25	0,36	1,16	2,03
	10-30 cm	Ombyt.	7,8	7,8	0,18	0,16	0,04	0,04	0,20	0,27
	10-30 cm	Syreopl.	18,8	13,9	2,29	2,09	0,50	0,54	2,08	2,50
Nystrup	O-horis.	Ombyt.	629,5	461,2	0,91	0,54	0,49	0,33	10,01	17,48
	O-horis.	Syreopl.	681,9	468,7	16,26	21,98	2,12	2,65	17,29	37,69
	0-10 cm	Ombyt.	16,5	12,0	0,64	1,10	0,03	0,04	0,63	0,44
	0-10 cm	Syreopl.	23,3	23,5	3,28	4,55	0,45	0,39	3,07	2,15
	10-30 cm	Ombyt.	9,7	4,8	0,52	0,35	0,03	0,02	0,21	0,09
	10-30 cm	Syreopl.	24,4	17,0	2,71	1,87	0,41	0,44	1,86	1,71
Tømmerby	O-horis.	Ombyt.	351,6	483,9	0,89	1,95	0,50	0,63	7,72	10,47
	O-horis.	Syreopl.	373,1	475,2	10,75	17,77	1,50	1,95	12,89	17,50
	0-10 cm	Ombyt.	82,6	71,9	1,67	1,11	0,15	0,12	1,15	1,47
	0-10 cm	Syreopl.	76,2	110,4	9,43	7,67	0,57	0,50	2,43	2,66
	10-30 cm	Ombyt.	22,4	42,3	0,06	0,28	0,04	0,05	0,17	0,95
	10-30 cm	Syreopl.	35,8	47,0	1,22	2,42	0,42	0,23	1,17	1,76

Konklusion – jordkemi

Generelt er der højere koncentration af næringsstoffer i jorden i Thy end i Fromsseier.

Den overordnede konklusion er, at pH-effekten af askespredning ses tydeligt i mineraljorden i Fromsseier, hvor jorden er meget sur som udgangspunkt. Effekten ses ikke i Thy, hvor kontrolparcellerne og askeparcellerne har omtrent samme pH. Bemærk, at pH opgives som $\text{pH}_{\text{CaCl}_2}$, som generelt giver et lavere resultat end $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$.

Analyser af forskellige stoffer i forskellige dybder giver ikke noget entydigt billede af askens effekt, med undtagelse af Mn og Fe, hvor askespredningen har hævet koncentrationerne i jordbunden. Endvidere hæves koncentrationen af syreopløseligt Cr, Pb og Ni i O-horisonten i mindst 5 af de 6 parceller, der har fået aske. Det bemærkes særligt, at fosforkoncentrationen ikke er systematisk øget af askespredningen, hverken i Fromsseier eller Thy.

Stofferne kan være tilstede uden at være tilgængelige for træerne. Resultaterne for syreopløselige stoffer er i alle tilfælde højere end for de ombyttelige stoffer, der kan udnyttes af træerne.

Både i Fromsseier og Thy er jorden så sur, at de fleste stoffers tilgængelighed er begrænset. Efter askespredning forventes en pH-stigning, der generelt medfører øget tilgængelighed for næringsstofferne. Den øgede tilgængelighed har tre mekanismer. De fleste næringsstoffer har en pH-afhængig opløselighed i vand og er mindre opløselige, når miljøet bliver meget surt. Den anden mekanisme er, at de næringsstoffer, der findes i asken generelt øger tilstedeværelse af næringsstoffer i jorden efter askespredningen. I takt med at disse næringsstoffer bliver opløst, kan de øge træernes adgang til næringsstoffer. Den tredje mekanisme er, at asken øger pH i det øverste organiske lag (O-horisonten), hvorved nedbrydningen af det organiske materiale øges. Som følge af nedbrydningen frigives næringsstoffer til jordbunden.

Hvis tilgængeligheden og dermed optaget er blevet øget på grund af askespredning, så er den tilbageværende koncentrationsforskel mellem ikke-ask og aske bevoksninger sandsynligvis mindsket. Denne mekanisme kan dog modsvares af askens næringsstofindhold. Ved disse processer kan det være svært at sige noget om askens effekt på jordbundskemien, når der kun er udtaget jordbundsprøver en årrække efter askespredningen. Ud fra den foretagne jordbundsanalyse er det ikke muligt at give en entydig vurdering af, i hvilken grad asken har tilført bevoksningerne næringsstofferne eller øget tilgængeligheden af eksisterende næringsstoffer. En større undersøgelse, med udtag af flere jordprøver og prøvetagning over tid, kunne give mere information.



Foto 8: Jordspyd bankes i med hammer og trækkes efterfølgende op og tømmes. (Foto: Katrine Andersen)

Træernes næringsstofstatus

Metode

For at bestemme træernes næringsstofstatus er der udtaget nåleprøver, og koncentrationen af næringsstoffer og tungmetaller er herefter analyseret. I Fromsejer Plantage er der udtaget nåleprøver fra rødgranbevoksningerne i januar 2016. I Thy er nåleprøverne udtaget fra fyre- og sitkagranbevoksningerne i januar 2018. Nåleprøverne bestod udelukkende af årsnåle fra sydvendte grene fra den øverste femtedel af kronen fra 10 co-dominante træer pr. bevoksning.

Nåleprøverne blev tørret ved 55 °C og vejjet. 100 repræsentative nåle blev talt op og vejjet for hvert træ (100-nålevægten). Nålene fra hvert træ blev findelt i en kværn og blandet grundigt, inden en delprøve blev udtaget og nedbrudt i koncentreret HNO_3 i mikrobølgeovn. De nedbrudte prøver blev analyseret for koncentrationen af P, K, Ca, Mg, Fe, Mn, Na, B, Al, Zn, S, Cd, Pb, Cr, Ni og Co ved ICP-MS (Termo). En ny delmængde af den kværnede delprøve blev udtaget, og koncentrationen af totalindholdet af C og N blev målt med en Skalar-CN-analysator (C / N analysator, SNCPrimacs).

Resultaterne fra den kemiske analyse er undersøgt statistisk for at finde signifikante effekter af askebehandlingerne og eventuelle signifikante forskelle mellem de parrede bevoksninger.



Foto 9: Årsnåle klippes af sydvendt gren.

Resultater - nålekemi

Der er ikke nødvendigvis overensstemmelse mellem stoffernes koncentration i nålene og træernes tilvækst. Hvis træerne er i mangeltilstand og ikke hæmmet af andre faktorer, så er det sandsynligt, at øget stofoptag, vist som øget stofindhold i nålene, vil medføre øget vitalitet og tilvækst. Er træerne ikke næringsstofbegrænset eller begrænset af andre faktorer, så vil flere næringsstoffer i nålene ikke medføre øget vækst. Desuden kan nogle stoffer optages til et højere niveau end det nødvendige (luksus-optag).

Når man sammenligner træernes næringsstofstatus med diagnostiske grænseværdier fra litteraturen så finder man, at træerne i Fromsseier sandsynligvis har væksthæmmende mangel på K og P. I Thy er der lave, sandsynligvis væksthæmmende, niveauer af P i Tømmerby og Korsø, mens der er målt tilstrækkelige koncentrationer af P i Nystrup. Der er ikke mangel på K i bevoksningerne i Thy.

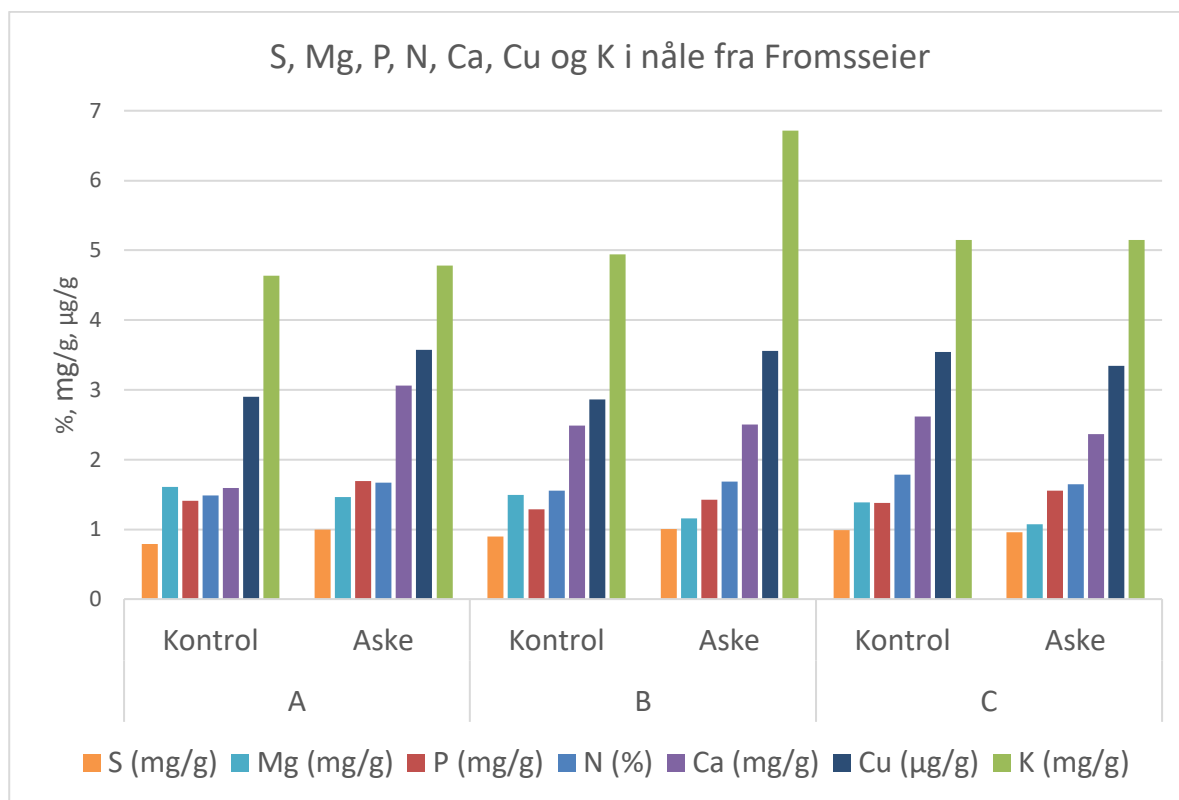
Fromsseier

I Fromsseier hæver askespredningen koncentrationen i nålene signifikant for en række essentielle næringsstoffer: P, K, Ca, S, Cu, Mn, Zn og Ni og tre tungmetaller: Cd, Zn og Ni. Dette viser, at askespredningen fører til et øget optag af næringsstoffer, der dels kan øge træernes vitalitet, dels kan føre til øget tilvækst. Øget optag af næringsstoffer medfører dog kun til øget tilvækst, hvis træerne som udgangspunkt var næringsstofbegrænset og ikke væksthæmmet af andre faktorer. Der blev ikke fundet nogen signifikant effekt af askespredningen på 100-nålevægten. At 100-nålevægten ikke er påvirket, kan skyldes, at træet blot har sat flere nåle med samme vægt.

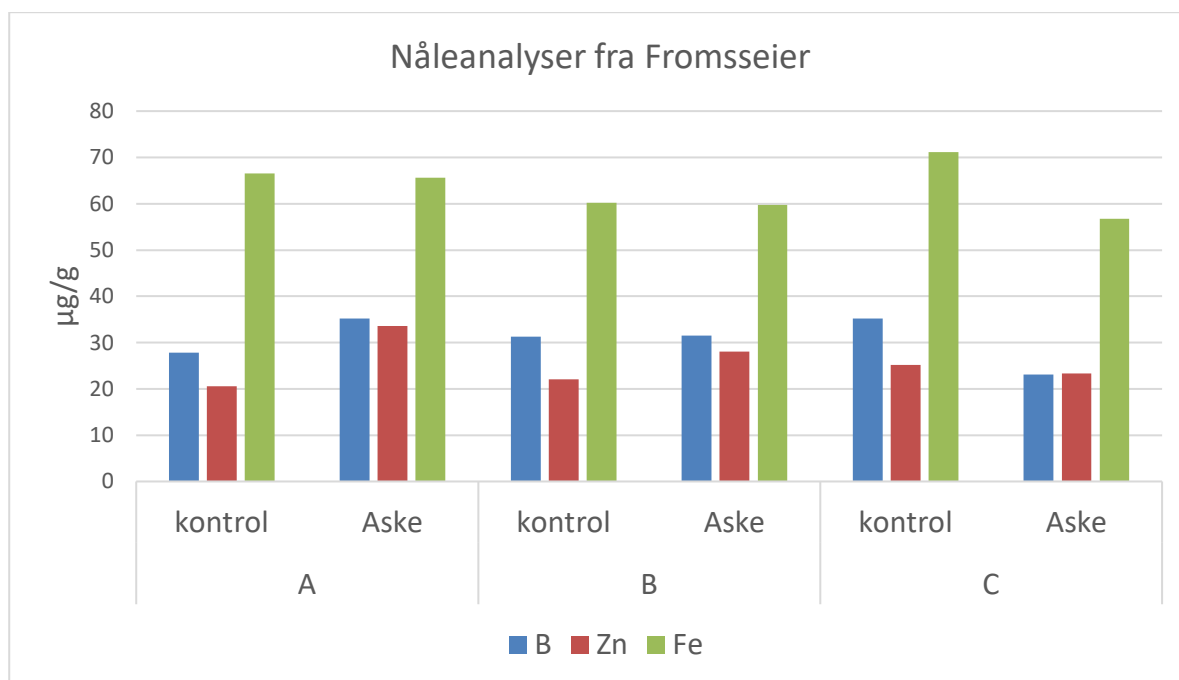
Tabel 11: 100-nålevægt i gennemsnit pr bevoksning i Fromsseier.

Bev.	Behandling	100 nålevægt (mg)			
		Gns.	Min	Max	Std. Afv.
A	Aske kontrol	706	484	900	127
		698	480	1043	159
B	Aske kontrol	518	376	723	115
		622	472	805	119
C	Aske kontrol	657	452	836	128
		636	478	845	121

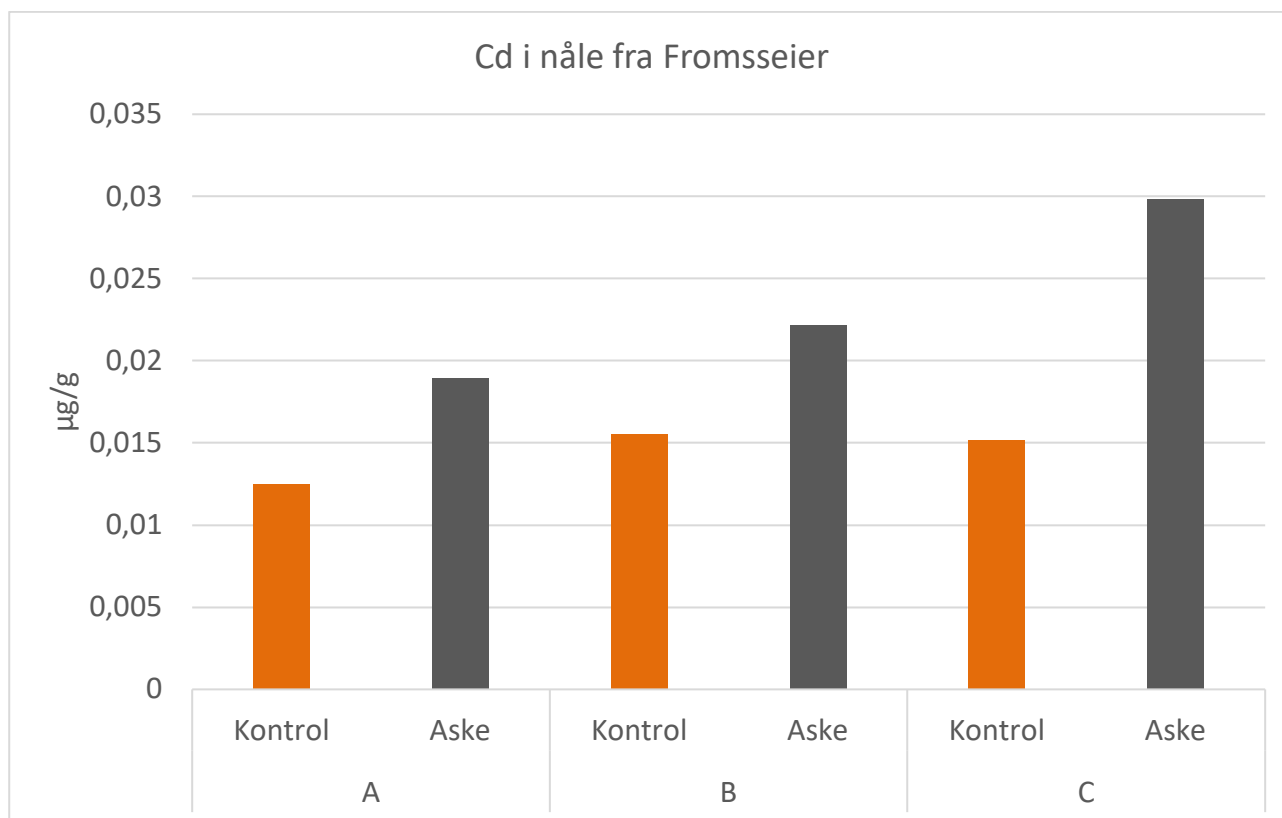
I Fromsseier er koncentrationen af C signifikant lavere i nåle fra bevoksninger, der har fået aske. Dette kan forklares ved, at koncentrationen af en række næringsstoffer er øget signifikant i disse nåle, og derved er massen af C mindsket en smule i forhold til den samlede masse af stoffer i nålene.



Figur 1: Koncentrationen af essentielle næringsstoffer: N, P, K, Ca, Mg, S og Cu i årsnålene fra Fromsseier Plantage i de tre bevoksningstyper: A, B og C. Bemærk, at enheden for koncentrationerne varierer mellem stofferne



Figur 2: Koncentrationen af essentielle næringsstoffer: B, Zn og Fe i årsnålene fra Fromsseier Plantage i de tre bevoksningstyper: A, B og C.



Figur 3: Koncentrationen af tungmetallet Cd i årsnålene fra Fromsseier Plantage i de tre bevoksningspar: A, B og C.

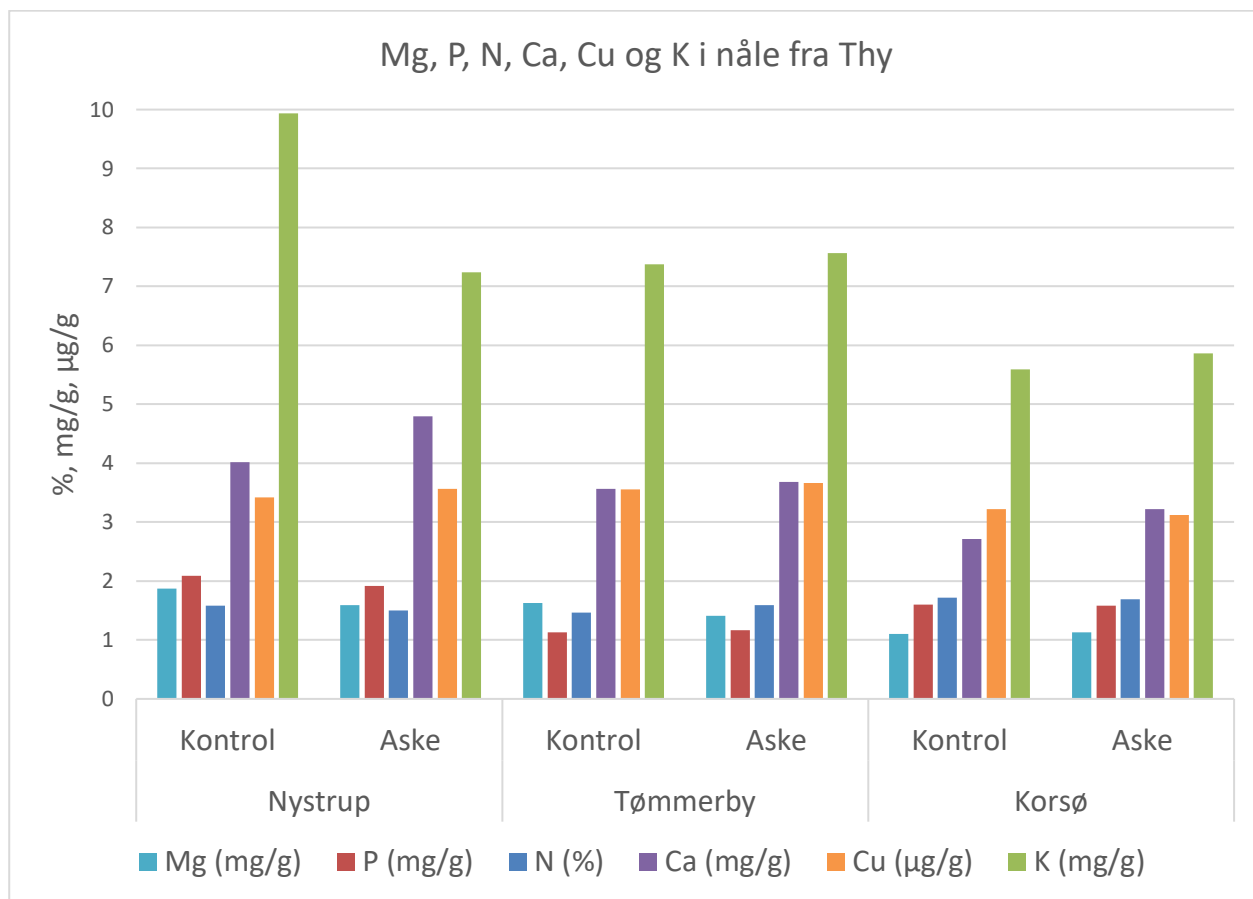
Thy

I Thy er askens effekt på nålekemien mindre end i Fromsseier. Eneste signifikante effekt ses for B, hvor askespredningen sænker koncentrationen. Disse resultater peger ikke på, at askespredningen har haft den store effekt på træernes næringsstatus. I Thy var der ingen signifikant effekt af askespredningen på 100-nålevægten. Til gengæld er der signifikante forskelle mellem lokaliteterne Nystrup (N), Korsø (K) og Tømmerby (T). Nystrup har de højeste koncentrationer af P, hvilket kunne begrunde en forventning om, at tilvæksten var bedre i Nystrup end i de øvrige bevoksninger, hvis P-mangel er den vækstbegrænsende faktor.

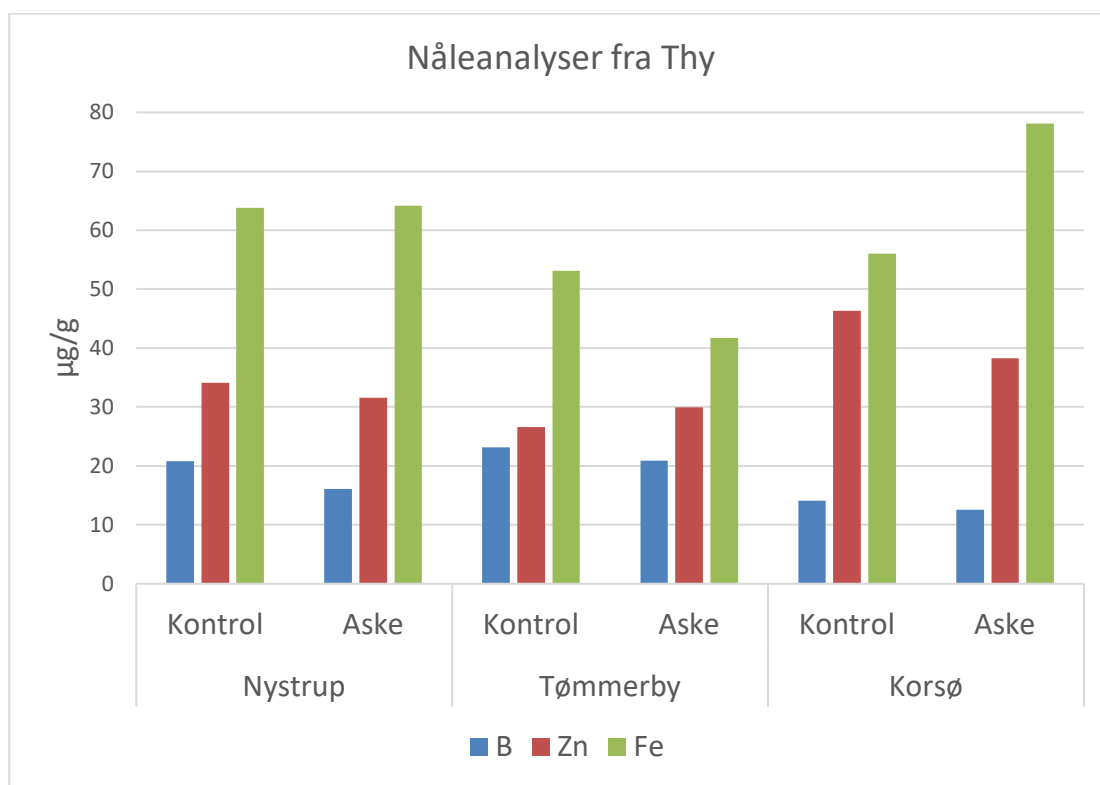
I Thy er koncentrationen af C i nålene ens, uanset om parcellen har modtaget aske eller ej.

Tabel 12: 100 nåle-vægt fra bevoksningerne i Thy. Der er ikke statistisk signifikant på nålenes vægte inden for bevoksningsparrene. Det er tydeligt, at sitka-nålene i Nystrup (N) er tungere end i Tømmerby (T). Under bevoksning Korsø (K) ses resultaterne for fyrre-nålene.

Bev.	Behandling	100 nålevægt (mg)			
		Gns.	Min	Max	Std.afv.
N	Aske	1916	1581	2398	256
	kontrol	2086	1448	3253	518
T	Aske	1167	1018	1298	92
	kontrol	1128	895	1326	131
K	Aske	1584	1435	1826	128
	kontrol	1597	1267	1819	194



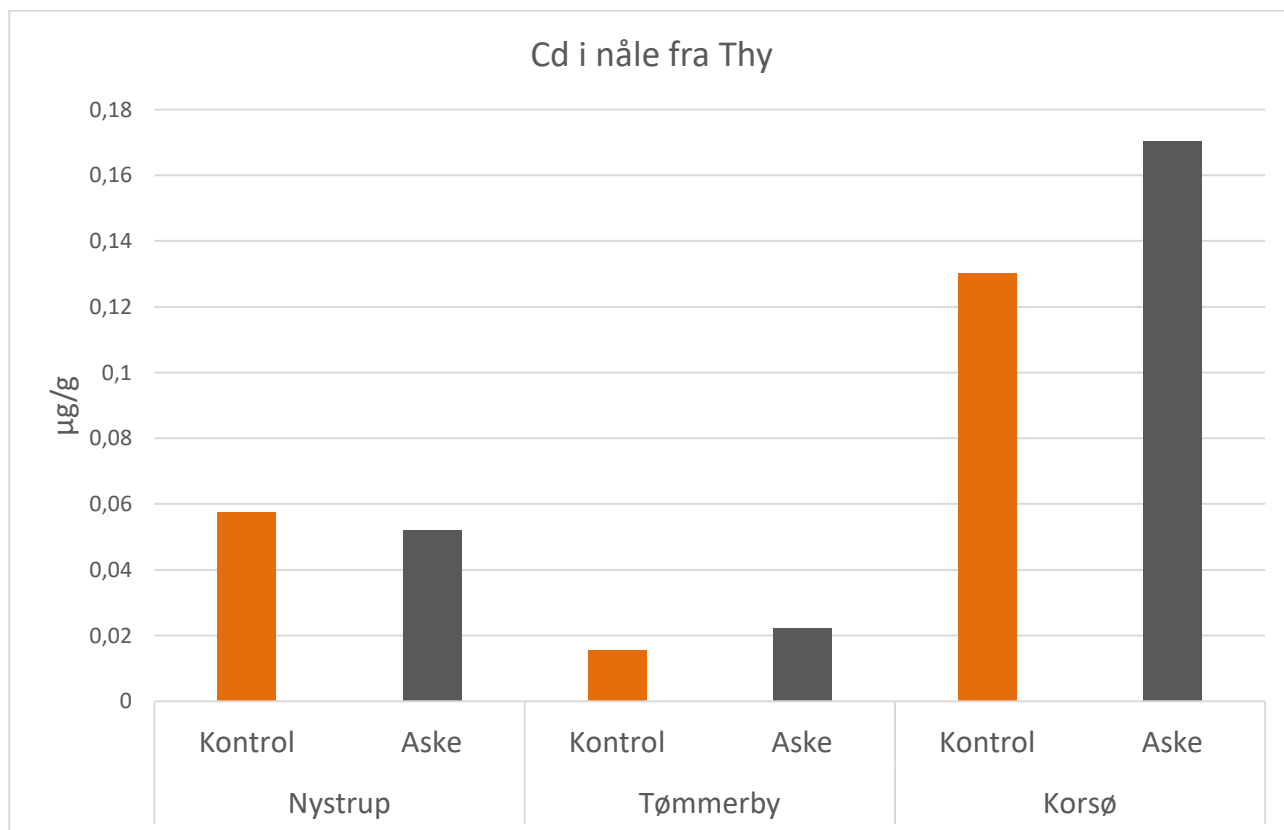
Figur 4: Koncentrationen af essentielle næringsstoffer: N, P, K, Ca, Mg, S og Cu i årsnålene fra Thy i de tre bevoksninger: Nystrup, Tømmerby og Korsø. Bemærk, at enheden for koncentrationerne varierer mellem stofferne.



Figur 5: Koncentrationen af nødvendige (essentielle) næringsstoffer: B, Zn og Fe i årsnålene fra Thy i de tre bevoksninger: Nystrup, Tømmerby og Korsø.



Foto 10: Nåle indsamles fra de fældede træer i Thy



Figur 6: Koncentrationen af tungmetallet Cd i årsnålene fra Thy i de tre bevoksningspar: Nystrup, Tømmerby og Korsø.

Herunder vises analyser fra både Fromsseier og Thy i tabelform.

Tabel 13: Koncentrationen af N, P, K, Ca, Mg, S, Cu og Fe i årsnåle fra Fromsseier Plantage. Her vises gennemsnitskoncentrationer (gns.), minimumkoncentrationer (min.), maximumkoncentrationer (max.) og standardafvigelser (std.afv.).

		N (%)				P (mg/g)			
Bevoksning	Behandling	Gns.	Min.	Max.	Std.afv.	Gns.	Min.	Max.	Std.afv.
A	Aske	1,67	1,44	1,79	0,10	1,69	1,16	2,19	0,34
	kontrol	1,48	1,28	1,69	0,13	1,41	0,15	2,04	0,51
B	Aske	1,69	1,50	1,90	0,13	1,42	1,27	1,57	0,10
	kontrol	1,55	1,36	1,75	0,17	1,29	1,07	1,51	0,14
C	Aske	1,65	1,55	1,75	0,07	1,55	1,34	1,85	0,15
	kontrol	1,78	1,55	2,04	0,17	1,38	1,21	1,66	0,14
		K (mg/g)				Ca (mg/g)			
Bevoksning	Behandling	Gns.	Min.	Max.	Std.afv.	Gns.	Min.	Max.	Std.afv.
A	Aske	4,78	2,61	5,74	0,90	3,06	1,46	5,21	1,06
	kontrol	4,64	0,78	6,57	1,60	1,59	0,22	2,38	0,59
B	Aske	6,72	5,15	7,66	0,78	2,50	1,91	2,82	0,31
	kontrol	4,94	4,21	5,78	0,53	2,49	1,52	3,83	0,69

C	Aske	5,15	3,95	6,62	0,80	2,37	1,28	3,89	0,84
	kontrol	5,15	3,70	7,54	1,06	2,62	1,32	4,30	0,98
		Mg (mg/g)				S (mg/g)			
Bevoksning	Behandling	Gns.	Min.	Max.	Std.afv.	Gns.	Min.	Max.	Std.afv.
A	Aske	1,46	1,07	2,07	0,28	1,00	0,85	1,13	0,09
	kontrol	1,61	0,21	2,16	0,55	0,79	0,11	0,98	0,25
B	Aske	1,16	0,88	1,65	0,24	1,01	0,93	1,08	0,05
	kontrol	1,50	1,07	2,09	0,30	0,90	0,74	1,00	0,10
C	Aske	1,07	0,81	1,40	0,19	0,96	0,82	1,07	0,08
	kontrol	1,38	1,07	1,71	0,21	0,99	0,89	1,14	0,07
		Cu (µg/g)				Fe (µg/g)			
Bevoksning	Behandling	Gns.	Min.	Max.	Std.afv.	Gns.	Min.	Max.	Std.afv.
A	Aske	3,58	2,95	4,10	0,34	65,60	45,92	88,12	13,44
	kontrol	2,90	0,42	3,72	0,93	66,57	16,34	87,45	19,81
B	Aske	3,56	3,10	4,06	0,28	59,76	47,81	70,70	7,46
	kontrol	2,86	2,35	3,46	0,30	60,20	42,05	79,36	11,15
C	Aske	3,34	2,85	3,79	0,30	56,71	43,47	74,35	8,99
	kontrol	3,54	3,22	4,08	0,26	71,15	45,18	100,90	15,64

Tabel 14: Koncentrationen af N, P, K, Ca, Mg, S, Cu og Fe i årsnåle fra Thy. Her vises gennemsnitskoncentrationer (gns.), minimumkoncentrationer (min.), maximumkoncentrationer (max.) og standardafvigelser (std.afv.).

		N (%)				P (mg/g)			
Bevoksning	Behandling	Gns.	Min	Max	Std.afv.	Gns.	Min	Max	Std.afv.
Nystrup	Aske	1,50	1,32	1,68	0,10	1,92	1,58	2,40	0,26
	kontrol	1,58	1,15	1,81	0,22	2,09	1,45	3,25	0,52
Tømmerby	Aske	1,59	1,30	1,75	0,12	1,17	1,02	1,30	0,09
	kontrol	1,46	1,19	1,66	0,15	1,13	0,90	1,33	0,13
Korsø	Aske	1,69	1,50	2,02	0,15	1,58	1,44	1,83	0,13
	kontrol	1,72	1,61	1,85	0,09	1,60	1,27	1,82	0,19
		K (mg/g)				Ca (mg/g)			
Bevoksning	Behandling	Gns.	Min	Max	Std.afv.	Gns.	Min	Max	Std.afv.
Nystrup	Aske	7,24	5,40	9,80	1,47	4,79	2,65	9,29	1,93
	kontrol	9,93	6,60	15,23	2,79	4,01	1,81	6,02	1,67
Tømmerby	Aske	7,56	5,92	10,37	1,41	3,68	2,38	5,10	0,96
	kontrol	7,37	5,38	9,02	1,15	3,57	2,05	4,76	0,97
Korsø	Aske	5,86	5,10	6,87	0,50	3,22	2,19	4,68	0,65
	kontrol	5,59	4,22	6,18	0,61	2,71	1,94	4,33	0,73
		Mg (mg/g)				S er ikke bestemt for Thy			
Bevoksning	Behandling	Gns.	Min	Max	Std.afv.	Gns.	Min	Max	Std.afv.
Nystrup	Aske	1,59	1,02	2,64	0,50				
	kontrol	1,87	1,25	2,76	0,55				
Tømmerby	Aske	1,41	1,07	1,77	0,23				
	kontrol	1,63	1,14	2,28	0,35				
Korsø	Aske	1,13	0,90	1,56	0,20				
	kontrol	1,10	0,84	1,35	0,20				
		Cu (µg/g)				Fe (µg/g)			
Bevoksning	Behandling	Gns.	Min	Max	Std.afv.	Gns.	Min	Max	Std.afv.
Nystrup	Aske	3,57	2,46	7,09	1,40	64,13	41,37	93,73	16,72
	kontrol	3,42	2,42	4,50	0,71	63,83	45,26	83,06	10,46
Tømmerby	Aske	3,67	3,11	4,91	0,52	41,75	29,08	54,16	8,13
	kontrol	3,55	2,83	5,24	0,69	53,08	35,94	100,94	18,06
Korsø	Aske	3,12	2,26	3,79	0,47	78,14	43,32	297,58	77,53
	kontrol	3,22	2,56	4,44	0,53	55,98	43,01	78,06	11,00

Tabel 15: Koncentrationen af Mn, Zn, B, Cd, Pb, Ni, Na og Cr i årsnåle fra Fromsseier Plantage. Her vises gennemsnitskoncentrationer (gns.), minimumkoncentrationer (min.), maximumkoncentrationer (max.) og standardafvigelser (std.afv.).

		Mn (µg/g)				Zn (µg/g)			
Bevoksning	Behandling	Gns.	Min	Max	Std.afv.	Gns.	Min	Max	Std.afv.
A	Aske kontrol	296,85	181,69	385,26	69,16	33,55	22,93	48,16	8,79
		204,92	34,95	354,61	86,45	20,53	2,96	35,38	8,30
B	Aske kontrol	1201,43	561,69	2291,67	463,70	28,05	20,10	39,55	6,83
		226,84	106,03	391,84	87,58	22,02	14,41	28,68	4,87
C	Aske kontrol	1082,41	552,02	1797,05	404,36	23,38	12,89	39,47	7,38
		348,35	135,11	819,78	212,91	25,15	12,40	36,11	7,87
		B (µg/g)				Cd (µg/g)			
Bevoksning	Behandling	Gns.	Min	Max	Std.afv.	Gns.	Min	Max	Std.afv.
A	Aske kontrol	35,14	25,83	42,90	5,96	0,019	0,002	0,043	0,012
		27,86	4,60	40,84	9,28	0,013	0,001	0,026	0,008
B	Aske kontrol	31,49	22,08	41,55	5,55	0,022	0,011	0,036	0,008
		31,25	19,11	54,21	9,95	0,016	0,003	0,035	0,013
C	Aske kontrol	23,16	13,16	33,38	5,84	0,030	0,007	0,062	0,016
		35,14	28,29	40,72	3,97	0,015	0,001	0,046	0,015
		Pb (µg/g)				Ni (µg/g)			
Bevoksning	Behandling	Gns.	Min	Max	Std.afv.	Gns.	Min	Max	Std.afv.
A	Aske kontrol	0,17	0,11	0,26	0,04	1,23	0,79	2,08	0,39
		0,14	0,04	0,17	0,03	1,07	0,20	1,52	0,41
B	Aske kontrol	0,12	0,09	0,15	0,02	0,93	0,57	1,33	0,30
		0,13	0,10	0,16	0,02	0,66	0,52	1,04	0,15
C	Aske kontrol	0,12	0,09	0,18	0,02	1,01	0,74	1,38	0,21
		0,14	0,11	0,19	0,02	0,88	0,53	1,23	0,26
		Na (µg/g)				Cr (µg/g)			
Bevoksning	Behandling	Gns.	Min	Max	Std.afv.	Gns.	Min	Max	Std.afv.
A	Aske kontrol	222	68	616	149	0,42	0,25	0,71	0,18
		159	18	336	109	0,29	0,06	0,65	0,16
B	Aske kontrol	192	76	288	73	0,32	0,21	0,52	0,11
		147	41	277	65	0,36	0,24	0,62	0,14
C	Aske kontrol	126	37	265	72	0,29	0,19	0,50	0,10
		187	117	297	62	0,26	0,18	0,33	0,05

Tabel 16: Koncentrationen af Mn, Zn, B, Cd, Pb, Ni, Na og Cr i årsnåle fra Thy. Her vises gennemsnitskoncentrationer (gns.), minimumkoncentrationer (min.), maximumkoncentrationer (max.) og standardafvigelser (std.afv.).

		Mn (µg/g)				Zn (µg/g)			
Bevoksning	Behandling	Gns.	Min	Max	Std.afv.	Gns.	Min	Max	Std.afv.
Nystrup	Aske kontrol	613,59	444,86	883,89	167,21	31,58	22,84	51,11	7,87
		751,58	322,29	1195,08	355,97	34,15	19,84	52,15	10,07
Tømmerby	Aske kontrol	239,13	153,10	327,94	59,60	29,92	22,37	37,20	4,67
		204,79	111,38	317,99	66,79	26,63	19,40	38,18	6,33
Korsø	Aske kontrol	152,05	73,35	265,17	50,46	38,30	31,14	52,45	7,31
		139,10	83,60	268,32	67,73	46,36	28,57	62,58	10,30
		B (µg/g)				Cd (µg/g)			
Bevoksning	Behandling	Gns.	Min	Max	Std.afv.	Gns.	Min	Max	Std.afv.
Nystrup	Aske kontrol	16,09	8,58	26,70	5,61	0,052	0,022	0,098	0,025
		20,77	12,72	36,17	8,55	0,057	0,030	0,101	0,024
Tømmerby	Aske kontrol	20,89	15,02	27,95	4,49	0,022	0,009	0,035	0,009
		23,18	18,06	32,27	4,65	0,016	0,001	0,023	0,006
Korsø	Aske kontrol	12,56	8,88	17,32	2,51	0,170	0,089	0,243	0,045
		14,12	11,70	16,93	1,64	0,130	0,056	0,227	0,052
		Pb (µg/g)				Ni (µg/g)			
Bevoksning	Behandling	Gns.	Min	Max	Std.afv.	Gns.	Min	Max	Std.afv.
Nystrup	Aske kontrol	0,39	0,08	1,78	0,56	0,74	0,32	1,41	0,33
		0,19	0,13	0,35	0,07	0,93	0,30	2,12	0,61
Tømmerby	Aske kontrol	0,15	0,10	0,25	0,05	0,33	0,24	0,48	0,08
		0,35	0,15	1,06	0,32	0,30	0,17	0,52	0,10
Korsø	Aske kontrol	0,22	0,13	0,32	0,06	0,51	0,35	0,99	0,18
		0,18	0,13	0,26	0,05	0,60	0,36	0,96	0,18
		Na (µg/g)				Cr (µg/g)			
Bevoksning	Behandling	Gns.	Min	Max	Std.afv.	Gns.	Min	Max	Std.afv.
Nystrup	Aske kontrol	1261	334	2338	615	0,32	0,11	0,68	0,20
		1761	180	2821	872	0,24	0,14	0,40	0,10
Tømmerby	Aske kontrol	331	140	581	156	0,22	0,15	0,38	0,07
		429	61	825	268	0,26	0,13	0,65	0,16
Korsø	Aske kontrol	1415	565	2021	555	3,85	0,29	33,90	10,56
		1175	499	2304	562	0,63	0,34	1,51	0,33

Tabel 17: Koncentrationen af C i årnsåle fra Fromsseier Plantage. Her vises gennemsnitskoncentrationer (gns.), minimumkoncentrationer (min.), maximumkoncentrationer (max.) og standardafvigelser (std.afv.).

		C (%)			
Bevoksning	Behandling	Gns.	Min	Max	Std.afv.
A	Aske	51,77	1,44	52,46	0,36
	kontrol	51,91	1,28	52,45	0,24
B	Aske	51,69	1,50	52,44	0,36
	kontrol	51,87	1,36	52,34	0,30
C	Aske	51,65	1,55	52,07	0,27
	kontrol	51,84	1,55	52,34	0,26

Tabel 18: Koncentrationen af C i årnsåle fra Thy. Her vises gennemsnitskoncentrationer (gns.), minimumkoncentrationer (min.), maximumkoncentrationer (max.) og standardafvigelser (std.afv.).

		C (%)			
Bevoksning	Behandling	Gns.	Min	Max	Std.afv.
Nystrup	Aske	50,49	1,32	51,53	0,49
	kontrol	50,93	1,15	52,13	0,58
Tømmerby	Aske	52,32	1,30	54,09	1,14
	kontrol	51,29	1,19	53,68	0,89
Korsø	Aske	51,06	1,50	51,53	0,45
	kontrol	51,15	1,61	52,09	0,41

Tabel 19: Resultater fra den statistiske analyse af nålenes stofkoncentrationer.

	Lokalitet	Behandlingseffekt
N	Fromsseier	Ikke signifikant
	Thy	Ikke signifikant
P	Fromsseier	Aske hæver koncentrationen signifikant
	Thy	Ikke signifikant
K	Fromsseier	Aske hæver koncentrationen signifikant
	Thy	Ikke signifikant
Ca	Fromsseier	Aske hæver koncentrationen signifikant
	Thy	Ikke signifikant
Mg	Fromsseier	Aske sænker koncentrationen signifikant
	Thy	Ikke signifikant
S	Fromsseier	Aske hæver koncentrationen signifikant
	Thy	Ikke målt
Cu	Fromsseier	Aske hæver koncentrationen signifikant
	Thy	Ikke signifikant
Fe	Fromsseier	Ikke signifikant
	Thy	Ikke signifikant
Mn	Fromsseier	Aske hæver koncentrationen signifikant
	Thy	Ikke signifikant
Zn	Fromsseier	Aske hæver koncentrationen signifikant
	Thy	Ikke signifikant
B	Fromsseier	Ikke signifikant
	Thy	Aske sænker koncentrationen signifikant
Cd	Fromsseier	Aske hæver koncentrationen signifikant
	Thy	Ikke signifikant
Pb	Fromsseier	Ikke signifikant
	Thy	Ikke signifikant
Ni	Fromsseier	Aske hæver koncentrationen signifikant
	Thy	Ikke signifikant
Na	Fromsseier	Ikke signifikant
	Thy	Ikke signifikant
Cr	Fromsseier	Ikke signifikant
	Thy	Ikke signifikant
C	Fromsseier	Aske sænker koncentrationen signifikant
	Thy	Ikke signifikant

Konklusion – nålekemi

Generelt, så ligger nålenes indhold af stoffer på samme lave niveau i de tre bevoksningspar i Fromsseier, mens der er flere næringsstoffer i nålene fra Thy, hvor Nystrup skiller sig ud med højeste koncentrationer.

Helt overordnet så har asken medført signifikant højere koncentrationer i nålene i Fromsseier for 9 ud af de 17 målte stoffer, mens nålene i Thy generelt ikke er signifikant anderledes efter askespredning.

Mens askens effekt på jorden generelt ikke viser en systematisk forøgelse af næringsstoffer, hverken bundne (syreopløselige) eller tilgængelige (ombyttelige), så ses der en tydelig effekt på nålekemien efter askespredning i Fromsseier.

Mens jordbundskemien viser et billede af stoffernes tilstedeværelse i jorden, så viser nålekemien et billede af, hvad træerne faktisk har optaget og bygget ind i årsnålene (nyeste årgang nåle). Der er overordnet set ikke et overensstemmende billede mellem jordbundsanalyserne og nåleanalyserne, hvilket viser, at et øjebliksbillede af jordkemien ikke beskriver træernes evne til at forøge optagelsen af næringsstoffer efter askespredning. Det må forventes, at både pH-effekter og tilstedeværelsen af næringsstoffer i jorden er forbigående. Træerne har i nogen grad evnen til at translokere (flytte) nogle af de optagne næringsstoffer, så de er til stede i årsnålene lang tid efter stoffet er optaget.

Vi ved fra litteraturen, at de mobile næringsstoffer, som kan retranslokere til nye skud især er N, P, K, Mg og til dels S, mens resten af næringsstofferne kun vanskeligt retranslokere, når de først er blevet indbygget i plantevævet. I dette forsøg passer teorien om, at vi ikke finder en effekt i jorden, men i nålene, på prøvetagningstidspunktet pga. retranslokering godt for P, K, og S. Til gengæld passer teorien ikke godt for Mg, som er mobilt i planten, men aske sænker koncentrationen af Mg i nålene signifikant i Fromsseier. Teorien passer heller ikke godt for Ca, Cu og Zn, som ikke er mobile i planten, men her hæver asken koncentrationen af Ca, Cu og Zn i nålene signifikant i Fromsseier. At koncentrationen af Mn er signifikant højere i nålene i Fromsseier, selv om dette stof ikke er mobilt i planten, passer til gengæld godt sammen med, at der på prøvetagningstidspunktet tydeligt er mere Mn i jorden, når der er spredt aske. Man kunne forvente, at Fe viste det samme mønster som Mn, men det er ikke tilfældet. Det er overordnet ikke let at give en generel valid forklaring på, hvorfor der ikke er bedre sammenhæng mellem resultaterne fra jordbundsanalysen og nåleanalysen.

Tilvækst

Fromsseier Plantage

Årringsmåling

På hver af træskiverne er der målt årringsbredde i to retninger. Årringsbredden i de to retninger er bestemt for de sidste 10 vækstsæsoner før fældning. Der er efterfølgende beregnet et årligt gennemsnit mellem årringsmålingerne i de to retninger pr. skive.

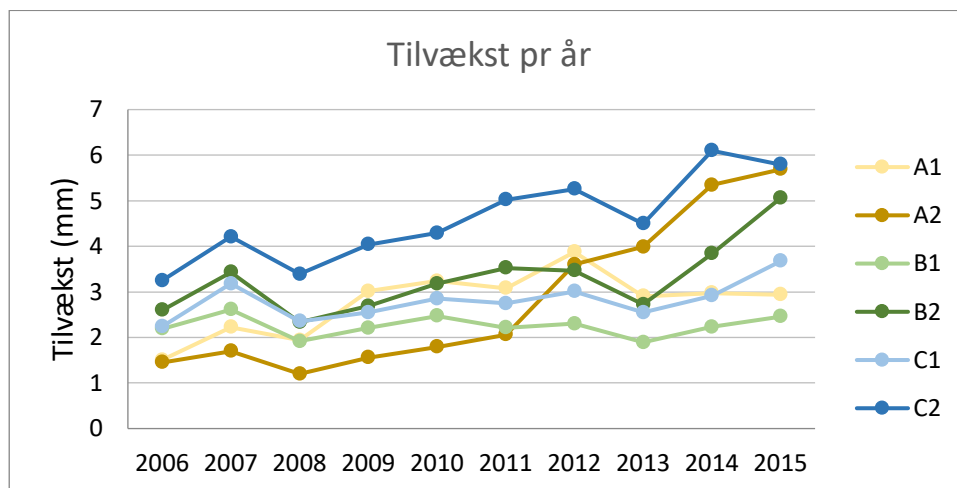
Der er målt mod nord og øst i forhold til træets orientering. I tilfælde af, at årringsbredden enten i retningen nord eller øst afviger og derved ikke er repræsentativ for årringsbredden på resten af skiven generelt, så er der valgt den nærmeste retning, der repræsenterer skiven bedst muligt. En sådan afvigelse kan være et knastspor, et sår, tydelig lokal øget eller mindsket vækst eller reaktionsved.



Foto 11: Markerede årringe klar til måling. Den ekstra markering svarer til askespredningstidspunktet.

Resultater

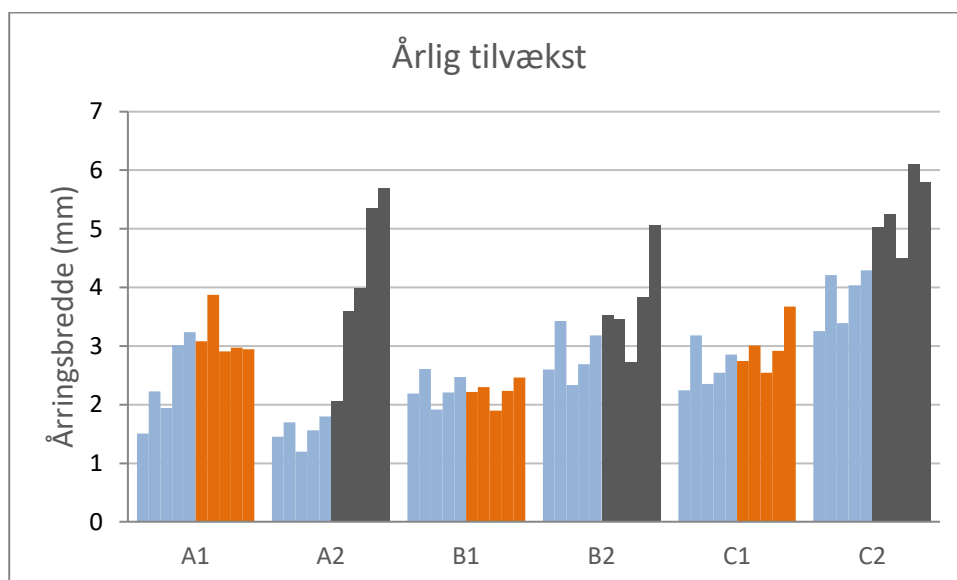
Det overordnede datasæt indeholder gennemsnittet af årringsbredden i hhv. nordlig og østlig retning for hver af 15 skiver i hver af de seks parceller.



Figur 7: Tilvæksten pr. år fra 2006 og til fældning i vinteren 2015/16. Hvert punkt angiver gennemsnittet af årringsbredder fra 15 skiver målt i nordlig og østlig retning. I vinteren 2009/2010 blev der spredt aske i parcellerne a2, b2 og c2.

Figur 7 viser en overordnet stigende tilvækst for alle parceller, hvilket er forventeligt for træer, der endnu ikke er i alderdomsfasen.

I vinteren 2010/11 blev der spredt 3 tons flisaske pr. ha i de tre 2'er parceller.



Figur 8: Årringsbredden er vist pr år. Årene før askespredning vises med blå, mens de efterfølgende 5 år er orange, hvis der ikke tildeles aske og grå, hvis der er spredt aske.

Den visuelle vurdering af søjlerne er, at parcellerne, der gives aske, opnår en øget tilvækst umiddelbart efter askespredningen. Det ser også ud til, at den øgede vækst fortsætter i de fem år, der er gået siden asken blev spredt.

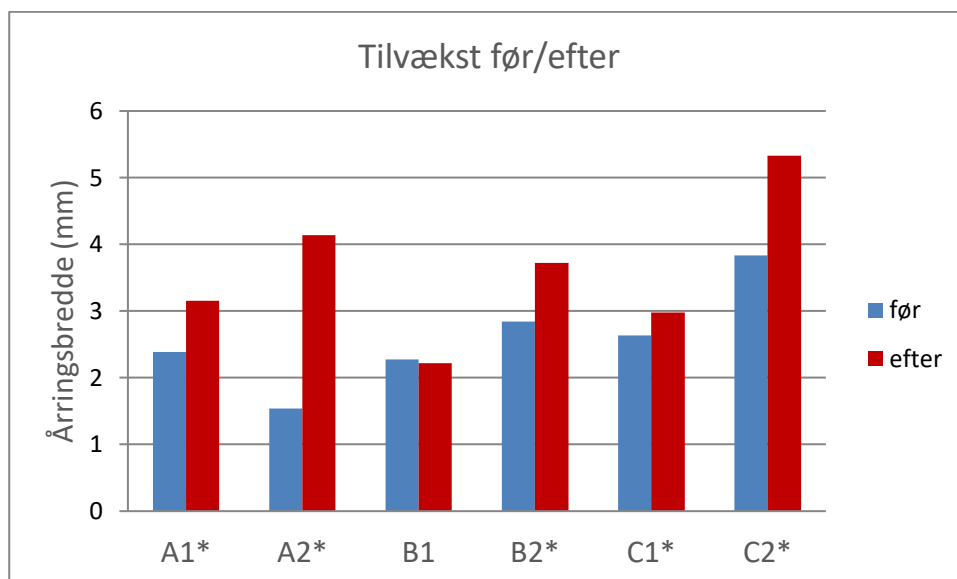
Deles datasættet ved askespredningen i 2010/11 har vi fem vækstmålinger før askespredning og fem vækstmålinger efter askespredning. Kaldes hhv. "før" og "efter".

Sammenlignes tilvæksten før og efter 2010/2011 i hver parcel med en t-test opnås nedenstående statistiske resultater.

Tabel 20: Testværdi (t) og p-værdi (p) for en t-test mellem talrækkerne for årringsbredde (gennemsnit af N og Ø) for hhv. før og efter 2010/2011, hvor der er spredt aske i A2, B2 og C2. Parcellen med størst vækst er markeret med rødt.

Felt	Periode	Antal	Middel	Std afv	t	P
A1	før	150	2,38	1,074		
	efter	150	3,15	1,078	-6,1967	<0,0001
A2	før	150	1,54	0,538		
	efter	150	4,14	1,888	-16,1958	<0,0001
B1	før	150	2,28	0,663		
	efter	150	2,22	0,063	0,705	0,4814
B2	før	150	2,85	0,946		
	efter	150	3,72	1,387	-6,3923	<0,0001
C1	før	150	2,635	0,939		
	efter	150	2,977	1,086	-2,9175	0,0038
C2	før	150	3,835	1,125		
	efter	150	5,333	2,031	-7,9027	<0,0001

Der ses en statistisk signifikant forskel mellem "før" og "efter" i alle parceller undtaget b1, hvor der ikke er forskel på "før" og "efter". I alle tilfældene, undtagen b1, er der øget vækst i sidste periode.



Figur 9: Den gennemsnitlige tilvækst i mm årringsbredde i hver parcel opdelt før og efter 2010/11, hvor A2, B2 og C2 parcellerne modtog aske. Signifikante forskelle mellem "før" og "efter" er markeret med * jf. nedenstående.

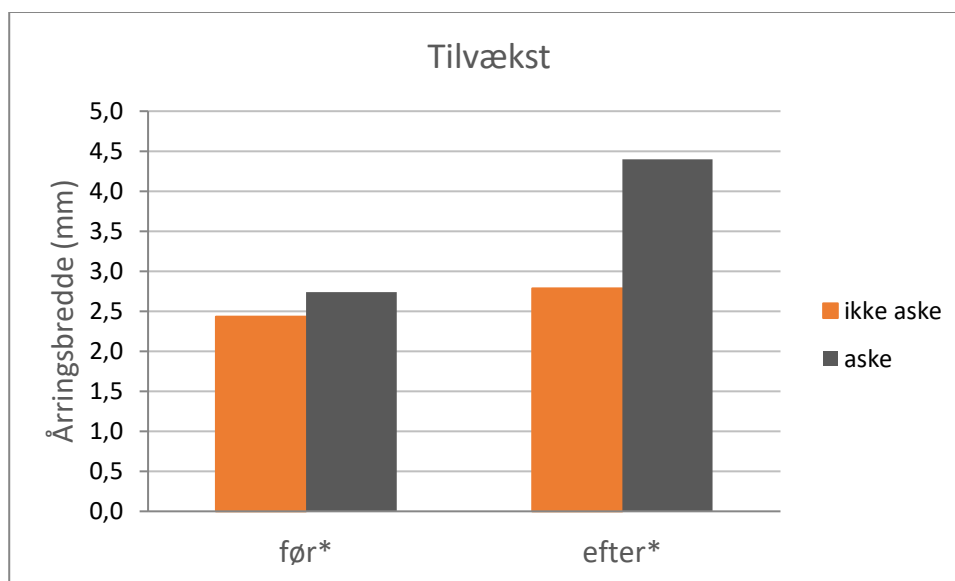
Figur 9 viser, at der, med undtagelse af B1, er mere tilvækst i perioden "efter" i forhold til "før", og at forskellen er signifikant på nær for parcel B1. Det skal altså bemærkes, at der generelt er øget vækst, uanset om der er spredt aske eller ej.

Tabel 21: Tilvæksten på de tre lokaliteter A, B og C hhv. med og uden aske sammenlignes før og efter askespredning. Parcellen med størst vækst er markeret med rødt.

Felt	Periode	Aske	Antal	Middel	Std afv	t	P
A	før	aske	75	1,541	0,539	6,0542	<0,0001
		ikke aske	75	2,384	1,078		
	efter	aske	75	4,137	1,894		0,0002
		ikke aske	75	3,154	1,082		
B	før	aske	75	2,846	0,949	-4,2422	<0,0001
		ikke aske	75	2,278	0,665		
	efter	aske	75	3,723	1,392		0,0001
		ikke aske	75	2,219	0,777		
C	før	aske	75	3,835	1,129	-7,0727	<0,0001
		ikke aske	75	2,634	0,942		
	efter	aske	75	5,333	2,038		<0,0001
		ikke aske	75	2,977	1,09		

Før askespredningen var der signifikant størst tilvækst i A1, B2 og C2. Efter askespredning var billedet, at A2, B2 og C2 havde største tilvækst.

Nedenstående figur viser tilvæksten "før" og "efter" opdelt i en "aske" og en "ikke-aske" gruppe. Sammenligningen "før" viser om der var forskel på parcellerne før spredningen af aske. Sammenligningen "efter" viser om der er forskel på de parceller der fik tildelt aske vs. de parceller, der ikke gjorde.



Figur 10: Tilvæksten i gennemsnit opgjort hhv. før og efter 2010/11 og opdelt efter om der spredtes "aske" eller "ikke aske". Signifikante forskelle er markeret med *.

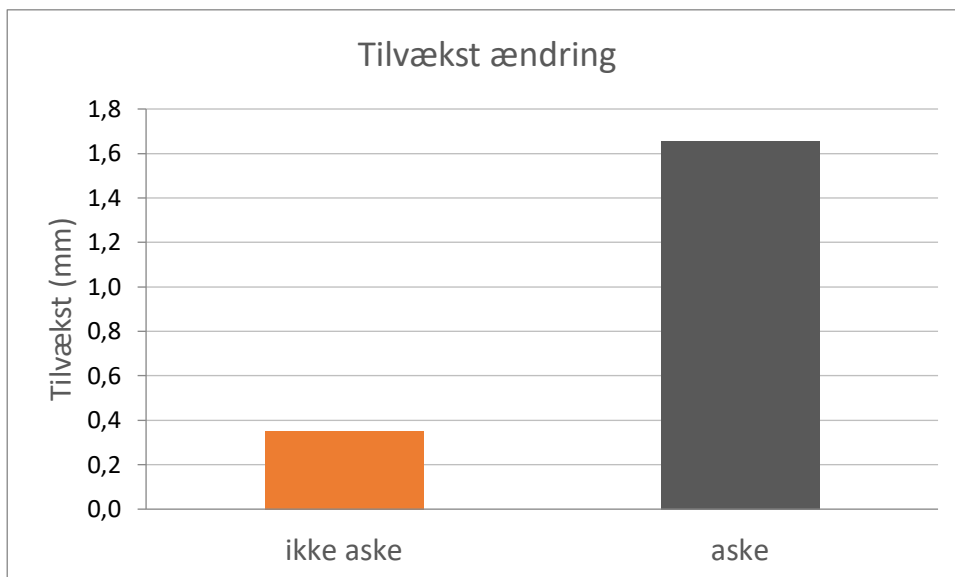
Analyseres data, vist i figur 10, med en t-test, er der signifikant forskel mellem "ikke aske" og "aske" både "før" og "efter".

Der er således lille, men signifikant forskel mellem parcellerne "aske" og "ikke-aske" før spredningstidspunktet. Denne forskel har naturligvis ikke noget med aske at gøre, men må skyldes andre forskelle mellem lokaliteterne. Forskellen efter askespredningen er betydeligt større og signifikant. Den øgede forskel skyldes formodentlig askespredningen. En fejlkilde i forhold til denne konklusion kunne bl.a. være uens tynding i parcellerne.

Når parcellerne er forskellige før der spredes aske i nogle af dem, så er det mere korrekt at analysere for ændringerne i tilvækst.

Den gennemsnitlige årlige tilvækst i årene hhv. "før" og "efter" findes for hvert træ i alle parceller. Hvert træs gennemsnitlige årlige tilvækst i perioden "efter" fratrækkes gennemsnitlige årlige tilvækst i perioden "før". Derved fås hvert træs gennemsnitlige årlige tilvækstforøgelse. Figur viser gennemsnitlig tilvækstændring for alle træer i grupperne "ikke aske" og "aske".

Figuren herunder viser, at træerne i parceller, der ikke fik aske i 2010/11 vokser 0,35 mm mere pr. årring i perioden efter 2010/11 i forhold til 2006-2010, mens træerne i parceller, der modtog aske i 2010/11 voksede 1,66 mm mere pr. årring i perioden efter askespredningen i forhold til før spredningen.



Figur 11: Differencen i hvert træes gennemsnitlige årlige tilvækst i perioden hhv. før og efter (tilvækst efter – tilvækst før), vist opdelt på parceller, der fik aske hhv. ikke fik aske. Der er signifikant forskel på tilvækstændringen afhængigt af, om parcellerne har fået aske eller ej.

Forskellen mellem gennemsnitlig årlig tilvækst i de to grupper er signifikant forskellig.

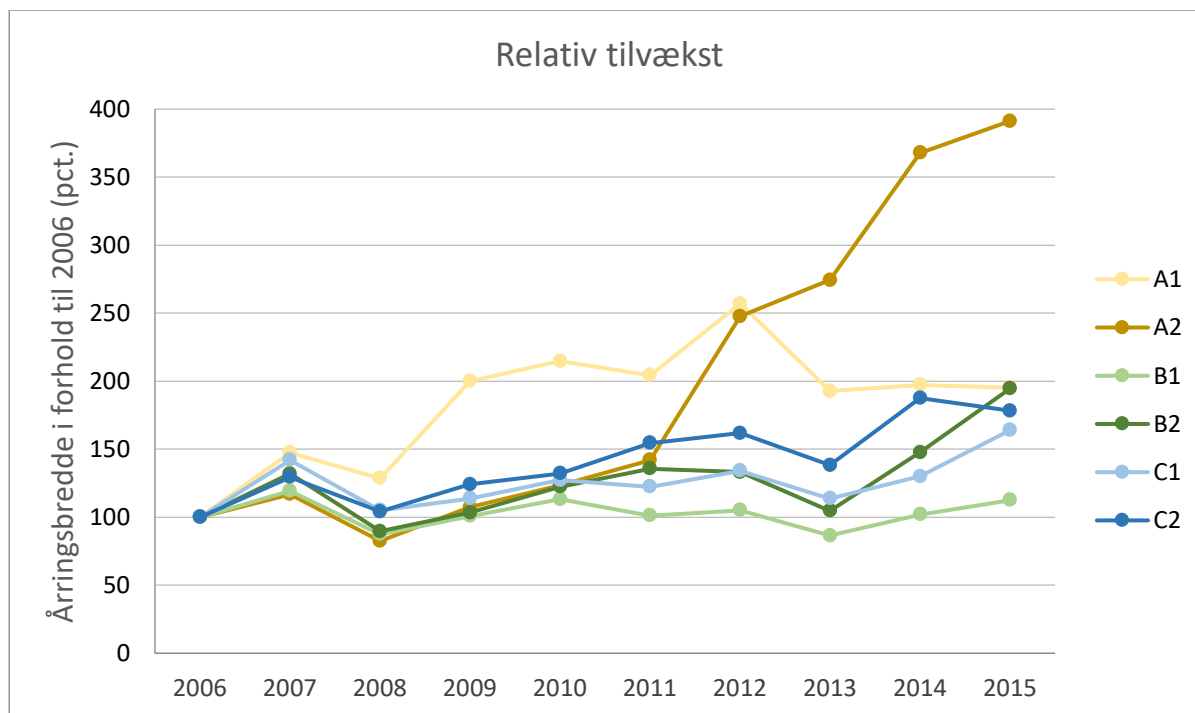
En parvis t-test, altså samme træ før og efter aske, viser, at differencen mellem før og efter for hvert af de målte 15 træer i hver parcel er signifikant forskellig afhængig af asketilførslen.

Træerne i parceller, der ikke får aske har en årringsbredde, der er 15 % større i perioden efter 2010/11 end før, mens træerne i parceller, der tildes aske får 33 % bredere årringe.



Foto 12: Markerede træer fældes og registreres i Fromsseier.

Den relative mertilvækst kan også beregnes ved at tage udgangspunkt i hver parcels vækst i 2006. Hvert efterfølgende år er tilvæksten beskrevet som en procentvis ændring i forhold til 2006 efter formelen: $((\text{tilvækst år } x) * 100) / \text{tilvækst 2006}$.



Figur 12: Den relative årringsbredde i procent af årringsvæksten i 2006.

Figuren viser en vis årsvariation. Alle træer vokser mere i 2007 end i 2006, og de fleste vokser mindre i 2008 (negativ procentuel udvikling) end i 2006. I 2009 skiller parcel A1 sig ud, hvilket falder sammen med tynding i parcellen. Parcel A2 tyndes samtidig, men øger ikke tilvæksten tilsvarende. I 2012 falder tilvæksten i A1, mens den stiger kraftigt i A2. Den kraftige stigning ses et år forsinket i forhold til askedoseringen i 2010/11. Effekten af tynding og evt. forskellig i tyndingsintensiteten kan ikke analyseres nærmere i dette projekt.

For de øvrige parceller (B1, B2, C1 og C2) følges kurverne ad fra 2006 til 2010. Efter 2010 sker der en adskillelse, så B1 og C1 generelt ligger nederst og B2 og C2, der har fået aske, ligger øverst.

Samlet statistisk behandling af tilvæksten

Jon Kehlet Hansen, IGN, har opstillet nedenstående statistiske model, der samler resultatet for de tre rødgranbevoksningspar i Fromsseier Plantage

Formålet er at lave en mere avanceret statistisk model, der inddrager forskelle i lokaliteter, træalder og år i sammenligningen af træer med og uden aske.

Der er brugt nedenstående model til analysen af data fra Fromsseier.

$$Y_{ijkl} = \mu + A_i + T_j + AT_{ij} + y_k + \tau_l + e_{ijkl}$$

Hvor Y_{ijkl} er den gennemsnitlige årlige tilvækst i årringsbredde (gennemsnit for n og østlig retning i et træ), μ er det generelle gennemsnit set over alle behandlinger og parcellet, A_i er effekten af aldersgruppe i

(ung/midaldrende/ældre), T_j er effekten af askebehandling j (ingen tilførsel/tilførsel), AT_{ij} er vekselvirkningen mellem aldersgruppe og askebehandling, y_k er den tilfældige virkning af året k , τ_l er den tilfældige virkning af det enkelte træ og e_{ijkl} er residualen.

Der tages hensyn til at gentagne målinger (ikke uafhængige målinger) på det enkelte træ ved at tilpasse en autoregression mellem årene inden for hvert enkelt træ. Ved testene af de faste effekter er der benyttet en Kenward-Roger approximation i proceduren MIXED i SAS (SAS Institute Inc. 2015). Der er benyttet en kvadratrodstransformation for at sikre rimelig varianshomogenitet (kontrolleret gennem plot af residualer imod de prædikterede værdier). Der er beregnet gennemsnitlige værdier (least square means).

Der er statistisk sikre forskelle i askebehandling ($P < 0,0001$). Vekselvirkningen mellem aldersgruppe og behandling er ikke signifikant ($P < 0,2954$). Askebehandlingen har givet en markant højere årlig årringstilvækst på $3,7 \pm 0,2$ mm imod $2,7 \pm 0,2$ mm uden behandling, svarende til ca. 39 % større tilvækst.



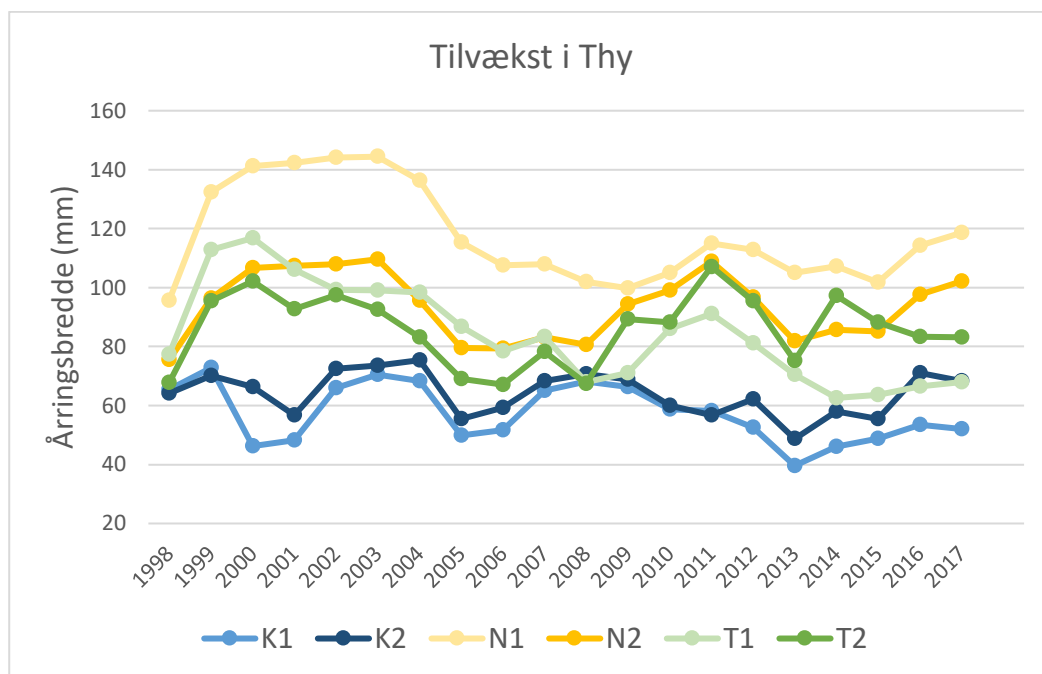
Foto 13: Feltarbejde i frostklart vejr i Fromsseier Plantage.

Naturstyrelsen-Thy

Ved årringsmålingerne på træerne fra Thy blev der målt 20 år tilbage fra sidste årring modsat undersøgelsen i Fromsseier, hvor der blev målt 10 år tilbage. Ligesom i Fromsseier blev der målt i to retninger fra centrum. På grund af påvirkningen fra vestenvinden og deraf følgende risiko for dannelse af reaktionsved på østsiden af stammerne, blev der målt i nordlig og sydlig retning.

Resultater

Som et gennemsnit af årringsbredden i de to retninger, der er målt på hver skive og de 15 skiver, der er udtaget på hvert felt, kan den årlige gennemsnitlige tilvækst på hver lokalitet beregnes.



Figur 13: Den årlige gennemsnitlige årringsbredde på de 6 felter i Thy.

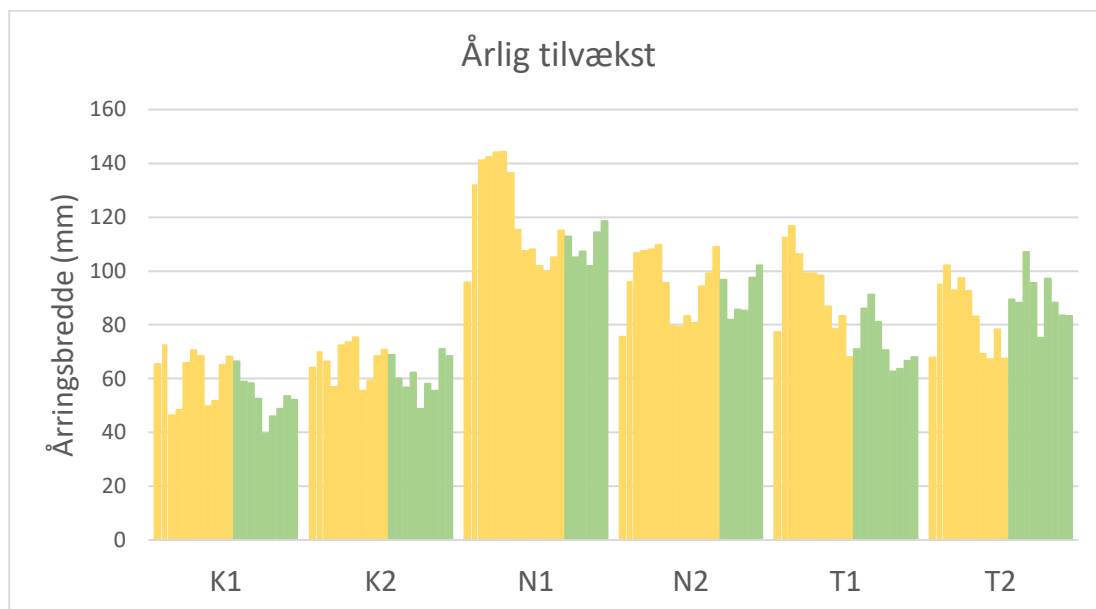
Det ses, at tilvæksten alle år er højest i bevoksning N1, hvilket harmonerer godt med, at der findes flere næringsstoffer her end andre steder i Thy. Især i de tidlige år fra 1998 til 2008 er tilvæksten markant højest i N1.

Det er uheldigt, at felt N1 afviger markant fra N2 i perioden før askespredning. Det gør sammenligningen inden for dette par af bevoksninger uklar.

Felterne T1 og T2 ligger tæt, ligesom K1 og K2 ligger tæt. Det ses på begge bevoksningspar, at der er samme årsudsving inden for parret.

Det er også iøjnefaldende, at de to felter i Korsø viser en lavere tilvækst end de to andre lokaliteter. Det skyldes sandsynligvis, at træarten er fyr i Korsø og sitka i Nystrup og Tømmerby kær.

På figuren herunder er tiden før askespredning markeret med gult, mens tiden efter den ene halvdel af felterne, alle 2'erne, har fået aske er grøn.



Figur 14: Viser den årlige gennemsnitlige tilvækst med markering af tidspunktet for spredning af aske i alle 2'er felter.

En statistisk analyse viser, at der i alle tilfælde på nær N2 er signifikant forskel på perioden før og efter. I alle tilfælde på nær T2 er den gennemsnitlige tilvækst højest i perioden før askespredningen.

Tabel 22: Statistisk oversigt over lokaliteterne K, N og T opdelt i aske/ikke aske. Inden for hver bevoksning er der udført t-test mellem perioden før og efter spredningsåret. Parcellen med størst vækst er markeret med rødt.

Felt	Aske	Periode	Antal	Middel	Std afv	t	P
K	ikke aske	før	330	2,037	0,897		
		efter	270	1,762	0,698	4,2164	<0,0001
	aske	før	330	2,220	0,611		
		efter	270	2,034	0,649	3,5855	0,0004
N	ikke aske	før	448	3,770	1,429		
		efter	192	3,436	1,493	2,6256	0,009
	aske	før	420	3,153	0,875		
		efter	180	3,050	1,122	1,0866	0,2781
T	ikke aske	før	330	3,110	1,032		
		efter	270	2,446	0,987	8,0333	<0,0001
	aske	før	330	2,766	0,854		
		efter	270	2,991	0,921	-3,076	0,002

Resultatet viser, at askespredning ikke ændrer på den generelle tendens i bevoksningerne. I alle felter på nær T2 ses der en generel tilvækst nedgang i de senere år.

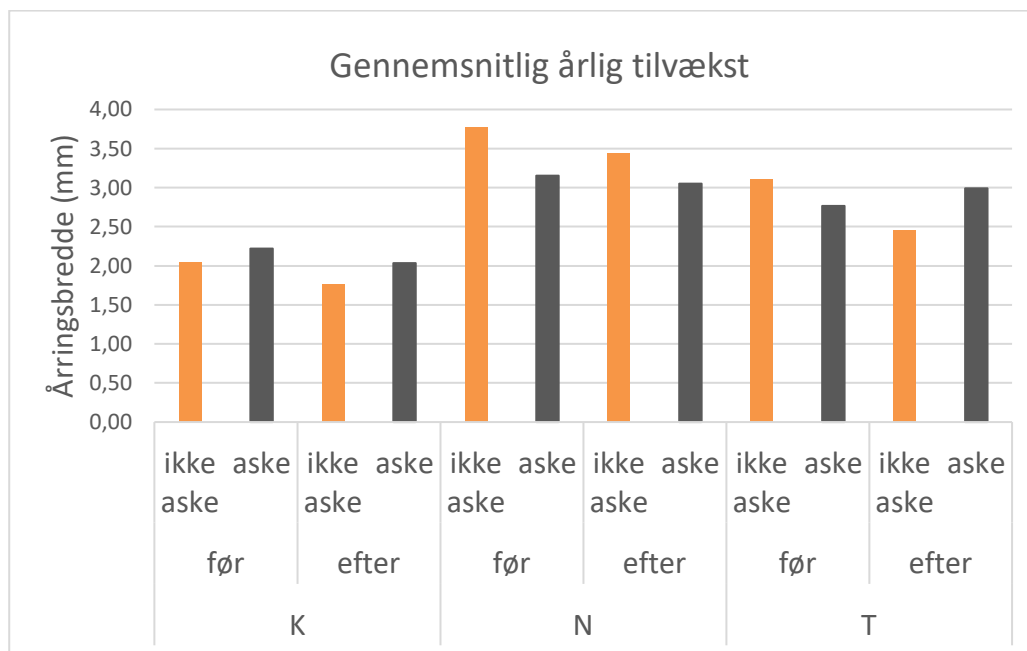
Askens mulige effekt skal findes ved at sammenligne parrene hhv. 1 og 2 inden for hver bevoksning (N, K, T).

Tabel 23: Statistisk oversigt over lokaliteterne K, N og T opdelt i perioderne før/efter spredningsåret. Inden for hver periode er der udført t-test mellem aske og ikke aske. Parcellen med størst vækst er markeret med rødt.

Felt	Periode	Aske	Antal	Middel	Std afv	t	P
K	før	aske	165	2,220	0,611	-2,1589	0,0317
		ikke aske	165	2,037	0,899		
	efter	aske	135	2,034	0,650	-3,305	0,0011
		ikke aske	135	1,762	0,699		
N	før	aske	210	3,153	0,876	5,4614	0,0001
		ikke aske	224	3,770	1,430		
	efter	aske	90	3,051	1,126	1,9949	0,0476
		ikke aske	90	3,437	1,497		
T	før	aske	165	2,766	0,855	3,2969	0,0011
		ikke aske	165	3,110	1,033		
	efter	aske	135	2,991	0,923	-4,6801	0,0010
		ikke aske	135	2,446	0,989		

Før askespredningen var tilvæksten størst på K2, N1 og T1, mens den efter askespredning er størst på felterne K2, N1 og T2. Der ses en statistisk signifikant forskel mellem parcellerne i hvert par, både før og efter askespredningen. Den største vækst er markeret med rød i tabellen. Samme data er vist på figuren her under.

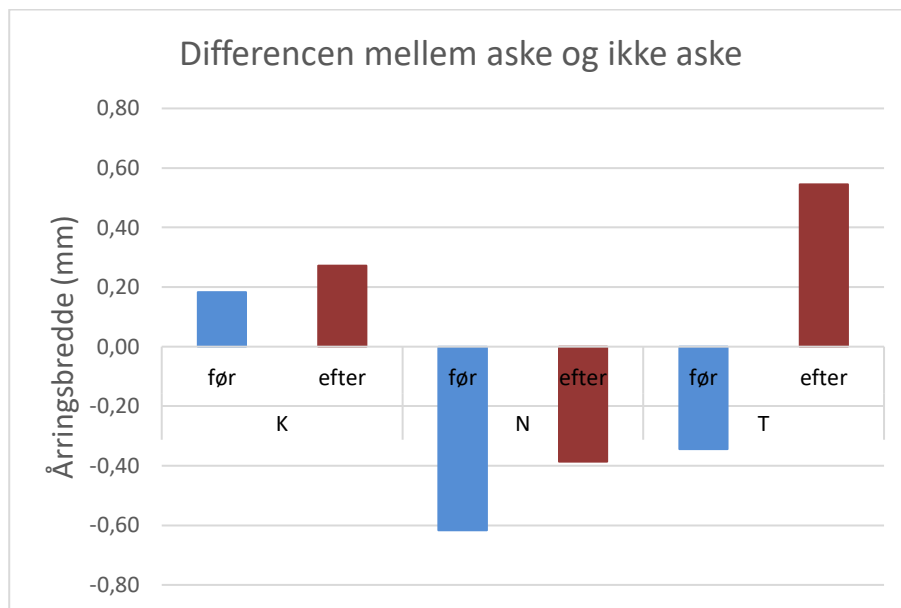
De årlige gennemsnitlige årringsbredder ses på figuren herunder.



Figur 15: Den gennemsnitlige årlige årringsbredde opdelt i perioden før og efter askespredning og derefter i med og uden aske.

Figur 15 giver det visuelle indtryk, at tilvæksten generelt set er lavere i perioden "efter", men i parcellerne, der modtager aske, er udviklingen i tilvækst mindre negativ end i parcellerne, der modtager aske.

Differencen mellem aske og ikke-aske (aske-ikke aske) felterne vist både før og efter askespredningen.



Figur 16: Differencen mellem askefelter og ikke-askefelter hhv. før (blå) og efter (rød) askespredning på de tre lokaliteter.

Figuren viser, at på alle lokaliteter har asken en positiv virkning. Uanset om askefelterne vokser mest eller mindst før askespredningen, så er askens virkning positiv.

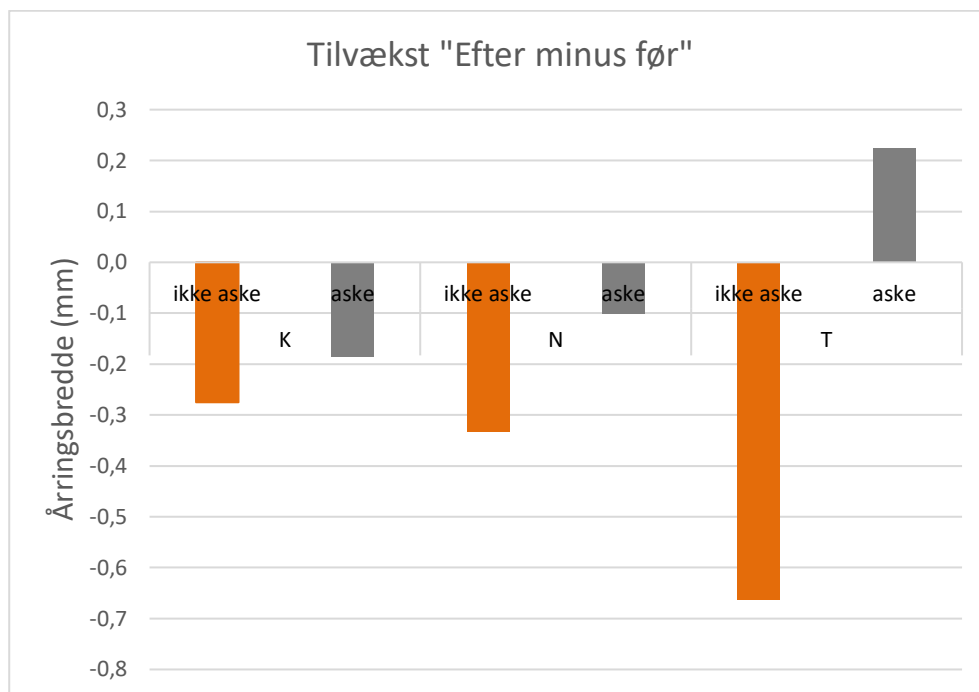


Foto 14: Skive udskæres af maskinfældet træ. (Foto: Katrine Andersen)

På tilsvarende måde kan data opdeles ud fra aske eller ikke aske.

På nedenstående figur er tilvækstforskellen hhv. før og efter askespredningstidspunktet beregnet som "efter minus før" og opdelt afhængigt af, om feltet har fået aske eller ej.

Jo mindre negativ eller jo mere positiv aske-søjlerne er i forhold til ikke-aske, jo større betydning har asken haft.



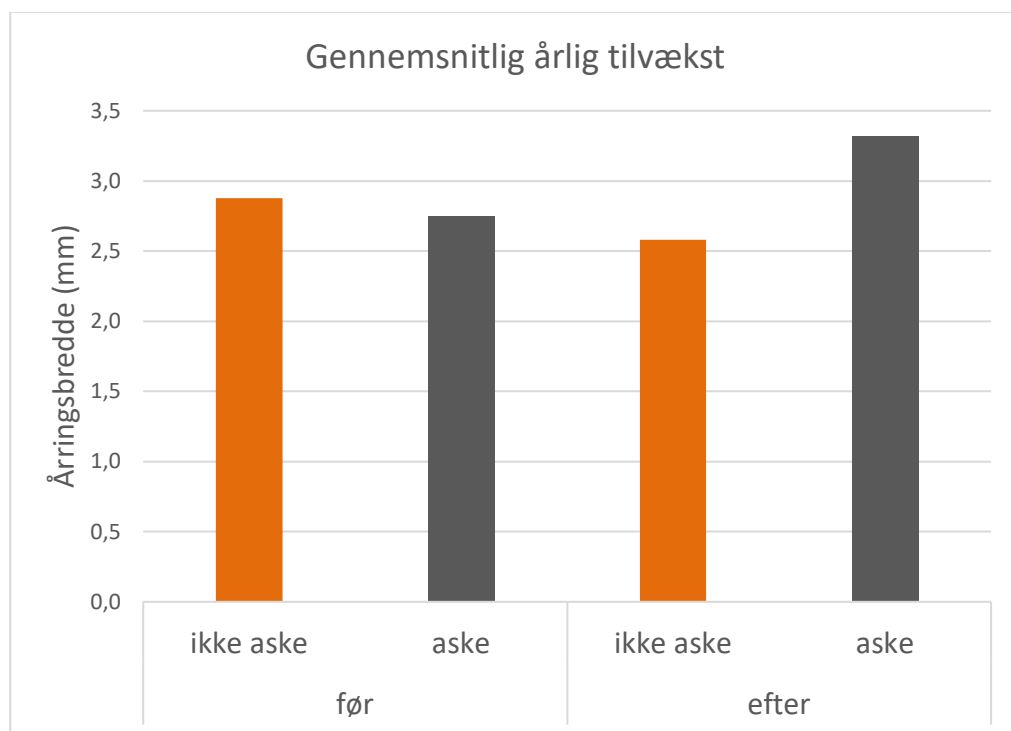
Figur 17: Årringsbredden i gennemsnit på de tre lokaliteter. Beregnet som forskellen i tilvæksten i perioderne før og efter askespredningen, beregnet hhv. på felterne med og uden aske.

Det ses, at askesøjlerne på alle tre lokaliteter er mere positive/mindre negative end ikke-aske-søjlerne. Om søjlerne er positive eller negative afhænger af, om der er større eller mindre vækst i årene efter askespredningstidspunktet. Det ses, at asken i alle tilfælde medfører en forbedret vækst efter askespredningen sammenlignet med bevoksningen, der ikke har fået aske.

Figur 17 giver et visuelt indtryk af askens positive effekt. Den procentuelle forskel mellem søjlerne beregnes efter formelen $((\text{ikke-aske} - \text{aske}) * 100) / \text{ikke aske}$ og er for K: 32%, N:39% og T: 134%

Askens effekt er således positiv i alle tre bevoksninger men langt størst i Tømmerby, hvor der er også ses en signifikant forøgelse af ombytligt P fra 0-10 cm i jorden.

Samles resultaterne på tværs af bevoksningerne ses askens effekt i gennemsnit i Thy. I dataserien indgår de tre bevoksningspar, hvoraf to er sitkagran og en er fyr.



Figur 18: Den gennemsnitlige årlige tilvækst opdelt i perioden før og efter, samt med og uden aske. Alle lokaliteter i Thy er medtaget.

Tabel 24: Datatabel og statistiske resultater til ovenstående figur. Datasættet dækker alle tre bevoksningspar i Thy. Parcellen med størst vækst er markeret med rødt.

Felt	Periode	Antal	Middel	Std afv	t	P
Før	aske	765	2,747	1,025	2,1897	0,0287
	ikke aske	779	2,877	1,294		
Efter	aske	585	3,320	1,66	-8,7851	<0,0001
	ikke aske	591	2,579	1,191		

I perioden før askespredning, var tilvæksten signifikant størst på ikke-askefelter, mens den er signifikant størst på askefelterne, efter de har modtaget aske.

Af ovenstående fremgår det, at spredning af aske samlet set i de tre bevoksningspar har en positiv og signifikant indvirkning på tilvæksten.

Hoved-konklusion

Projektet omfatter seks parvist sammenlignelige parceller, hvoraf den ene har modtaget aske. I alle seks tilfælde er der konstateret positiv effekt af asken på træernes årringsbredde. På de tre rødgran-lokaliteter og den ene sitka-lokalitet er effekten statistisk signifikant, mens den positive effekt af aske på den anden sitka-lokalitet og fyrre-lokaliteten er mindre og må kaldes en tendens.

Med bevidsthed om projektets begrænsede størrelse er resultatet relativt entydigt. Asken har en større eller mindre, men positiv virkning på træernes tilvækst i de seks bevoksninger, der er brugt som eksempler i undersøgelsen.

Der er flere mulige fejlkilder som følge af projektets praksisnære design. For eksempel findes der ikke præcise data for tyndingen i de sammenlignede parceller. Der er også risiko for påvirkning af resultaterne fra forskelle i jordbunden og vandtilgængeligheden i parcellerne.

I Fromsseier er der spredt 3 ton aske/ha, mens der i Thy er spredt 3 ton/ha i Nystrup og 2 ton/ha i Korsø og Tømmerby.

Der er gennemført tre delundersøgelser i projektet: jordkemi, nålekemi og tilvækstmåling.

Det viser sig, at jorden er mest sur i Fromsseier og lidt mindre sur i Thy. I Fromsseier kan askens kalkningseffekt måles som lidt højere pH i parcellerne, der har modtaget aske, mens denne effekt ikke kan måles i Thy.

Asken indeholder næringsstoffer, men der kan ikke vises et entydigt billede af, at der findes flere næringsstoffer i jorden efter askespredning, med undtagelse af Mn og Fe, hvor askespredningen har hævet koncentrationerne i jordbunden. Endvidere hæves koncentrationen af syreopløseligt Cr, Pb og Ni i O-horisonten i mindst 5 af de 6 parceller, der har fået aske.

Træerne optager de plantetilgængelige næringsstoffer og transporterer en del af dem til nålene, hvor fotosyntesen foregår.

Den kemiske analyse af nålene beskriver træernes næringsstofstatus, som er en vigtig parameter, når man vil bestemme træets vitalitet. Ud fra vores analyser ser det ud til, at nålenes stofindhold i langt højere grad end jordbundskemien er påvirket af askespredningen. I Fromsseier ses der en signifikant stigning i nålenes koncentration for 8 ud af 12 analyserede næringsstoffer, mens der i Thy generelt ikke ses en effekt af askespredningen på næringsstofkoncentrationerne i nålene. Dog findes der i Thy én signifikant forskel mellem nålene i aske og ikke-ask-bevoksninger, og det er et fald i Bor efter askespredning, hvilket må betragtes som et tilfælde.

Der ses ingen entydig sammenhæng mellem jordbundskemien og nåleanalyserne med undtagelse af Mn, hvor koncentrationen stiger ved asketilførsel i både jord og nåle.

Det gælder for tilvækstmålingen, at der i alle seks sammenlignelige bevoksninger er konstateret positiv effekt af asken på træernes årringsbredde. På de tre rødgran-lokaliteter og den ene sitka-lokalitet er effekten statistisk signifikant, mens der er tendens til positiv effekt af aske på den anden sitka-lokalitet og fyrre-lokaliteten.

Generelt har asken haft størst effekt i Fromsseier og mindre effekt i Thy, hvilket sandsynligvis hænger sammen med at jorden i Fromsseier er mere sur og mindre næringsholdig end i Thy. Desuden påvirkes resultaterne muligvis af, at der i to af parcellerne (K og T) i Thy kun er spredt to ton aske/ha.

Med bevidsthed om projektets begrænsede størrelse er resultaterne meget interessante. Det er afgørende for fremtidigt arbejde at være opmærksom på, at der ikke nødvendigvis er korrelation mellem jordkemi, nålekemi og tilvækst. Resultaterne tyder således på, at jord og nålekemi ikke kan bruges som mål for tilvæksten. Tilvæksten skal nødvendigvis måles selvstændigt og direkte på træerne. Der kan være mange faktorer indblandet som for eksempel jordens udgangspunkt, bevoksningens alder, tæthed og hugstbehandling, askedoseringen og tiden siden askespredning.



Foto 15: I alle projektets 6 parvist sammenlignelige bevoksninger på mager jord kan det konkluderes, at spredning af flisaske i højere eller mindre grad har haft positiv virkning på træernes tilvækst.

KØBENHAVNS UNIVERSITET

INSTITUT FOR GEOVIDENSKAB
OG NATURFORVALTNING

ROLIGHEDSVEJ 23
1958 FREDERIKSBERG

TLF. 35 33 15 00
IGN@IGN.KU.DK
WWW.IGN.KU.DK